RB 244253

Library
of the
University of Toronto

TENTANDA VIA

LAW LIBRARY

YORK
UNIVERSITY

410

TRAITÉ

DES

PARATONNERRES

IMPRIMERIE EUGÈNE HEUTTE ET Cie, A SAINT-GERMAIN

TRAITÉ

DES

PARATONNERRES

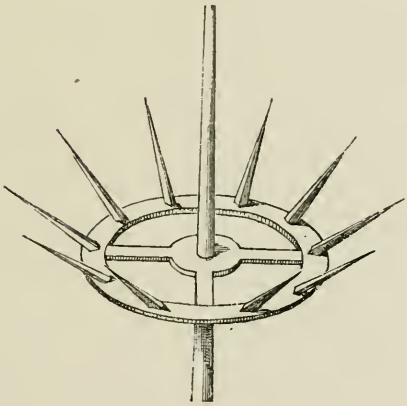
LEUR UTILITÉ

LEUR THÉORIE — LEUR CONSTRUCTION

PAR

A. CALLAUD

INGÉNIEUR-ÉLECTRICIEN



PARIS

LIBRAIRIE GÉNÉRALE DE L'ARCHITECTURE

ET DES TRAVAUX PUBLICS

DUCHER ET Ce

Éditeurs de la Société centrale des Architectes

51, RUE DES ÉCOLES, 51

—

1874

Digitized by the Internet Archive
in 2010 with funding from
University of Ottawa

http://www.archive.org/details/traitdesparato00call

AVANT-PROPOS

Quelques personnes connaissant les notes et les essais d'instructions que j'ai déjà publiés sur les paratonnerres, m'ont signalé la nécessité d'un travail complet sur ce sujet.

L'utilité des paratonnerres n'est plus ni contestable ni contestée ; mais ces appareils peuvent devenir inutiles ou dangereux, s'ils sont construits, comme on ne le fait encore que trop souvent aujourd'hui, sans connaissance aucune des principes qui en doivent guider l'établissement, ou avec un oubli coupable de ces principes.

Je prends donc la responsabilité d'un ouvrage sur ce sujet important. Je l'entreprends en toute sécurité, sachant que je puis approcher plus près de la vérité que les écrivains qui ont jusqu'ici traité cette matière. J'ai consulté leurs œuvres, et sur elles j'ai basé la mienne. Je n'ai pas la prétention d'avoir tout vu et tout appris ; mais j'ai construit et mis en place un grand nombre de paratonnerres, j'ai supprimé nombre de pièces mal faites ou devenues défectueuses, et je me

suis attaché à profiter des leçons de l'expérience. L'électricité, dont l'étude a occupé une partie de ma vie, m'est devenue familière, et je me suis ainsi trouvé à même de bien apprécier les effets des paratonnerres. De plus, je sais manier la lime, le tour et le marteau, et j'ai souvent travaillé de mes mains aux objets de ma fabrication. J'ai donc l'expérience du maître et celle de l'ouvrier.

Depuis la flèche jusqu'à la mise à terre, à chacune des pièces du paratonnerre j'ai donné une forme que je crois plus pratique, au point de vue de la fabrication, que celle des pièces anciennement employées, et que je considère comme assurant à l'appareil un meilleur fonctionnement. Néanmoins, je citerai, à propos de chaque objet, le passage correspondant des instructions de Gay Lussac, de Pouillet ou d'autres grands physiciens ; chacun sera ainsi à même de comparer l'ancienne méthode et les modifications que je propose, et de choisir entre elles.

Dans le cours de cet ouvrage, je rejetterai absolument toute économie qui paralyserait les effets des paratonnerres; mais j'indiquerai des solutions plus économiques que celles usitées jusqu'ici, quand je les jugerai aussi efficaces.

La plupart des ouvriers employés à la fabrication des paratonnerres en comprennent peu la fonction, et suivent avec plus ou moins d'intelligence les instructions trop brèves pour eux de l'Académie. Aussi donnerai-je des explications théoriques propres à faire comprendre l'ensemble de ces appareils, et des in-

dications précises sur l'utilité de chaque pièce. On trouvera dans ce livre le dessin et la description minutieuse de chaque chose, et jusqu'aux moindres détails de la main-d'œuvre. J'indiquerai dans quel corps de métier on devra chercher l'ouvrier capable d'exécuter chaque sorte de travail.

Cet ouvrage sera utile à l'architecte, qui doit guider les ouvriers ; au propriétaire qui, faisant édifier un château, voudra savoir si le paratonnerre destiné à assurer la sécurité de son habitation est établi dans de bonnes conditions ; il le sera encore et surtout au constructeur et à l'ouvrier qui voudront être certains des qualités de leur ouvrage. Contrairement aux traités publiés jusqu'ici sur le même sujet, et qui ne se prononcent pas assez catégoriquement dans tous les cas sur les modèles à adopter, le mien est rempli d'indications précises sur chaque point, supprimant de la sorte toute indécision possible quelconque.

Si je réussis dans ma tâche, je serai heureux d'avoir produit une œuvre utile et fait quelque bien. En tous cas, je suis certain d'avoir fait avancer d'un pas une science qui n'a qu'un siècle d'existence et présente encore bien des obscurités, et d'avoir donné un moyen efficace de s'assurer du fonctionnement ou du non fonctionnement des paratonnerres, ce qui ne s'était pas encore fait, du moins à ma connaissance. J'affirme les faits que j'avance, et je livre mes idées avec la conscience bien intime que mes procédés sont rationnels et justifiés par l'expérience.

Un mot encore : les savants illustres qui ont écrit sur les paratonnerres ont créé un monument, qui est

encore le seul aujourd'hui consulté ; il a été traduit dans toutes les langues européennes. Ce n'est qu'avec un extrême respect que j'oserai y toucher. Mais bien des découvertes sont venues agrandir le champ de la science, depuis que les « Instructions » ont été rédigées, et j'ai tenté de faire profiter de ces découvertes nouvelles ceux qui consulteront mon livre.

A. CALLAUD.

TRAITÉ

DES

PARATONNERRES

CHAPITRE PREMIER.

EXPOSÉ HISTORIQUE.

J'ai construit un assez grand nombre de paratonnerres, et j'ai eu plusieurs fois l'occasion d'émettre des avis [1] au sujet de ces appareils, en me basant sur mes expériences et mes travaux. Je crois devoir aujourd'hui publier tout ce que m'ont appris une longue pratique et des études théoriques. En lisant les *Instructions* officielles publiées sur ce sujet, j'ai été surpris de trouver encore l'état de la science si peu avancé sur une question qui touche, non-seulement à la conservation de monuments considérables et de grande valeur, mais encore à la vie des hommes, plus précieuse assurément que les millions que coûtent les bâtiments. Mon travail renfermera des indications nouvelles qui seront, je l'espère, d'une grande utilité pour les constructeurs.

[1] Voyez, à la fin du volume, une note envoyée par moi à l'Académie des sciences, en 1862

Je commencerai par un exposé historique de la découverte des paratonnerres, non de l'électricité ; ceci nous entraînerait trop loin hors de notre sujet.

La marche que je suivrai ensuite sera celle de la construction même : je parlerai d'abord du choix de l'emplacement; puis, examinant le paratonnerre pièce à pièce, depuis la pointe jusqu'à la mise à terre, je citerai les documents déjà publiés, j'y ajouterai des démonstrations théoriques, émanant de nos maîtres ou de moi-même, et je décrirai minutieusement la manière de faire chaque objet.

Pour déterminer avec certitude à qui revient l'honneur de l'invention des paratonnerres, il faut remonter jusqu'aux premières découvertes qui en ont été, pour ainsi dire, les préliminaires.

On ne trouve rien dans l'antiquité qui ait quelque rapport avec cet objet, si ce n'est certains détails de construction, fruits du hasard et non de la science, auxquels le temple de Salomon, par exemple, dut, sans doute, de n'être jamais foudroyé. Vers le milieu du XVIIe siècle seulement, on devina l'analogie de l'étincelle électrique avec la foudre; en 1749, l'académie de Bordeaux mit cette question au concours, et, en 1750, couronna l'ouvrage qui en donnait la démonstration. La même année, Franklin écrivait de Philadelphie à Collinson, à Londres, les raisons qu'il avait de croire à cette analogie; il fit ensuite connaître le pouvoir des pointes, et le prouva par l'expérience, mais sans l'expliquer. Il annonça qu'une pointe de fer élevée doit écarter l'orage; mais ses idées étaient toutes spéculatives, et il ne leur avait pas encore donné la sanction de l'expérience. Les lettres de Franklin furent lues en Europe avec enthousiasme, pendant que les savants anglais les accueillaient avec mépris et incrédulité. Les savants français, Buffon entre autres, qui fit traduire et publier ces lettres, puis Dalibard, Delor et l'abbé Mazéas, exécutèrent les expé-

riences que Franklin indiquait, et obtinrent des effets électriques merveilleux par leur nouveauté, en se servant de barres de fer aiguës et isolées, qui donnaient en temps d'orage des étincelles (mai 1752). Ces expériences furent répétées devant Louis XV. L'appareil de Dalibard, à Marly, fut le premier qui donna des effets électriques en un jour d'orage. Lemonnier trouva qu'on pouvait tirer des étincelles des barres de fer, même par un temps non orageux.

Au mois de septembre 1752, Franklin, las d'attendre la construction d'un clocher élevé qui devait lui permettre de faire l'expérience de ses barres aiguës, fabriqua un cerf-volant qu'il fit enlever par le vent dans un ciel orageux : il n'observa d'abord aucun effet, et il désespérait déjà de prouver son hypothèse, quand la pluie vint à tomber : la corde mouillée devint meilleure conductrice, et les effets électriques apparurent. La joie de Franklin fut grande, et son expérience fut la première confirmation de ses idées et de son système.

Un peu plus tard, le 7 juin 1753, de Romas faisait à Nérac une expérience semblable, mais mieux combinée et plus complète, en présence d'un public nombreux. Ayant pourvu sa corde d'un fil de métal, il obtint de son cerf-volant des effets magnifiques, qui menacèrent même de devenir redoutables. On ne sait si de Romas avait eu ou non connaissance du cerf-volant de Franklin.

A peu près dans le même temps, le 6 août de la même année, le physicien Richmann, à Saint-Pétersbourg, ayant placé sur sa maison une barre de fer isolée, et y ayant attaché un conducteur métallique, qui communiquait avec son cabinet de travail et devait lui servir à répéter les essais faits en France et en Amérique, fut foudroyé pendant un violent orage.

Enfin, en 1760, Franklin, dont toutes les expériences tendaient à un but pratique, au lieu de s'arrêter uniquement aux faits brillants de la physique expérimentale, réussit à placer un

paratonnerre sur la maison d'un de ses amis nommé West. Ce paratonnerre se composait d'une barre de fer d'environ 4 mètres (9 pieds 1/2) de longueur et de 12 millimètres 5 de grosseur (1/2 pouce), qui allait en s'amincissant; une pointe de 25 centimètres (10 pouces) la surmontait; à sa base était fixée une autre tige plus petite, de 6 millimètres 25 (1/4 pouce), liée elle-même à un conducteur métallique, lequel allait jusqu'au sol et s'y enfonçait de 1 mètre 50 à 2 mètres.

A peine ce paratonnerre fut-il installé qu'un orage violent éclata sur la ville et vint se briser contre lui. La pointe fut fondue sur une longueur de près d'un mètre, et la tige de dix pouces, qui reliait la barre au conducteur, réduite à sept pouces et demi de longueur. Il semblait que le ciel s'était fait le devoir d'essayer, en en prouvant l'efficacité, le paratonnerre de Franklin.

On peut, de l'ensemble des faits que nous venons de rapporter, tirer plusieurs leçons que nous allons signaler de suite, ou qui seront signalées dans le cours de cet ouvrage.

D'abord, nous voyons, par les expériences de Lemonnier, que, même en temps calme, il existe souvent entre la terre et le ciel des différences électriques sensibles bonnes à étudier, ce que l'on pourra faire sans danger avec l'instrument décrit au chapitre XIX.

Nous trouvons aussi une leçon scientifique dans l'expérience du cerf-volant : c'est que la corde de chanvre, qui ne conduisait pas suffisamment l'électricité à l'état sec, devint conductrice dès qu'elle fut mouillée. Cependant l'eau pure n'est pas non plus un conducteur suffisant pour permettre, avec une section aussi restreinte et une aussi grande longueur que celles de la corde, l'établissement d'un courant sensible. Nous tenterons de donner de ce fait une explication plausible, et d'en tirer un enseignement utile.

En examinant avec impartialité la succession historique des faits, on doit voir que c'est en France que fut devinée

l'analogie de la foudre avec les étincelles données par les instruments de physique.

Le 10 mai 1752, c'est-à-dire quatre mois avant l'expérience du cerf-volant de Franklin, les savants français, Buffon en tête, avaient élevé en divers lieux des barres de fer aiguës, pour en attendre l'effet au premier orage qui surviendrait.

Après la magnifique expérience du cerf-volant, Franklin, convaincu définitivement de la justesse de ses prévisions, établit aussi des tiges électriques. Il avait, avons-nous dit, une pensée plus profonde et plus complète du but à atteindre que les expérimentateurs français; il cherchait à préserver du feu du ciel les habitations des hommes, et, suivant jusqu'au bout les conséquences de sa découverte, il construisit le premier paratonnerre. L'événement qui suivit son érection en prouva l'efficacité.

Si les premières lettres de Franklin avaient été lues avec enthousiasme en Europe, l'accueil qu'y reçut son invention fut tout autre; il se produisit contre elle une opposition générale qui dura vingt ans. Comment supposer qu'un barbare, au milieu de contrées sauvages connues d'hier, pouvait être l'inventeur d'une si belle découverte, au point d'y attacher son nom! D'abord, l'Angleterre, qui était en guerre avec l'Amérique et qui sentait lui échapper cette riche contrée, rejetait de parti pris tout ce qui en arrivait. Mais comme il fallait pourtant se rendre à l'évidence, on voulut, par esprit de contradiction, faire des paratonnerres qui, au lieu d'une pointe, portassent une boule. Le roi Georges se mit à la tête de cette sotte opposition et fit placer sur son château un paratonnerre muni d'une fort belle boule dorée. Les expériences de Beccaria firent bientôt reconnaître l'inefficacité des boules employées comme *terminus* de paratonnerres, et il n'en fut plus question.

Voici les expériences de Beccaria, père des religieux *pies*, à Turin. Il dressa sur une église de cette ville une barre isolée

portant une pointe mobile qu'on pouvait tourner vers le ciel ou vers la terre, en tirant un cordon de soie. Cette pointe communiquait avec le sol par un conducteur présentant une solution de continuité.

Par un temps d'orage, quand cette pointe était tournée vers le ciel, des étincelles, tellement rapprochées qu'elles semblaient n'en former qu'une, remplissaient l'interruption; quand on laissait retomber la pointe vers la terre, il n'y avait plus d'étincelles, ou du moins elles étaient très-rares.

Il fit ensuite une autre expérience : ayant élevé à peu de distance l'un de l'autre deux paratonnerres, l'un terminé en pointe et l'autre en boule, munis chacun de leur conducteur, on vit que, sous l'action de la même électricité aérienne, le conducteur du paratonnerre à tige pointue donnait des étincelles dans la solution de continuité pratiquée comme il vient d'être dit, tandis que, quoique disposé de la même manière, le paratonnerre à boule ne donnait que peu ou point de manifestations électriques.

Prenons note de ce dernier fait, et répétons à ceux qui présentèrent récemment des bouts de paratonnerres arrondis, comme à tous ceux qui font à Paris les nombreux paratonnerres à bouts arrondis qu'on y voit encore, que leurs instruments seront sinon complétement inefficaces, du moins d'un bien moindre effet que ceux qui présentent une pointe effilée.

En France, l'opposition vint de l'abbé Nollet et de son amour-propre de savant.

Un paratonnerre établi à Saint-Omer ameuta la populace. La municipalité ordonna au possesseur de l'abattre; celui-ci s'y refusa : de là procès, appel, etc.; un arrêt permit au propriétaire de le conserver. L'avocat qui défendit le paratonnerre gagna là son premier procès, et commença ainsi une réputation qui grandit singulièrement depuis. Il se nommait Maximilien Robespierre.

Vers 1782, l'usage des paratonnerres se répandit en Europe. Dès 1778, la république de Venise avait ordonné d'en pourvoir ses vaisseaux, avant de penser à en placer sur ses monuments. En 1784, la France en fit placer sur les siens. L'Angleterre les adopta en 1788, et fit établir le premier sur l'église Saint-Paul.

Quand vint le triomphe des armées françaises en Amérique, et celui de la liberté américaine, à laquelle avait tant contribué le génie de Franklin, l'enthousiasme fut si grand en France que les paratonnerres devinrent de mode, et que les chapeaux des femmes et les parapluies des hommes se garnirent d'une pointe et d'une chaîne métallique traînant à terre.

Notre caractère léger nous fait ainsi rejeter d'abord les grandes inventions de haute utilité, mais quand une circonstance nous les fait adopter ensuite, notre engouement va parfois jusqu'à l'extravagance. Les hommes disaient qu'en prenant une épée à la main et la tenant en l'air pendant l'orage, on se garantissait du tonnerre; aussitôt tout le clergé demanda avec instance l'autorisation de porter l'épée, afin, disait-il, de n'être pas privé de cette ressource protectrice en cas de danger. On l'apaisa en lui démontrant, par une expérience assez singulière, qu'il avait un autre moyen de se préserver de la foudre : cette expérience consistait à jeter sur des rats les décharges de batteries électriques; si le rat était sec, il était tué parce que l'électricité passait par son corps; s'il était mouillé, la décharge ne passait que par sa toison humide. « En temps d'orage, laissez mouiller vos habits », dit-on au clergé. Je ne sais s'il usa du conseil, mais la dispute en resta là.

En 1823, le gouvernement, par l'organe du ministre de l'intérieur, demanda à l'Académie des sciences une *instruction pratique* pour la construction des paratonnerres. Gay-Lussac en fut chargé. Son rapport lumineux et savant devint, par la netteté et la précision de ses détails, la règle générale; il fut

traduit dans toutes les langues européennes, servit et sert encore de nos jours à guider les constructeurs de paratonnerres.

Cependant, plusieurs de nos éminents physiciens, Pouillet entre autres, ajoutèrent aux instructions de Gay Lussac des *instructions supplémentaires.*

Enfin, les expériences de M. Perrot, que nous rapporterons, complétèrent les données théoriques sur lesquelles on doit s'appuyer.

CHAPITRE II.

EMPLACEMENT ET HAUTEUR DES PARATONNERRES.

Nous donnerons le nom de *flèche* à l'ensemble des pièces qui constituent le paratonnerre depuis la base de la tige de fer surmontant les combles, jusqu'à la pointe, et qui sont :

1° La pointe de platine formant le sommet du paratonnerre, et qui est soudée à l'extrémité supérieure de la tige de cuivre ;

2° La tige de cuivre, qui est la pièce ajustée, soudée ou vissée sur la tige de fer, et portant la pointe en platine ;

3° La tige de fer, composée de la barre proprement dite, portant la tige de cuivre, et de son embase d'appui sur les combles, avec l'attache du câble.

Il faut, avant tout, choisir dans un édifice la place qui convient le mieux au paratonnerre. L'architecte en fait une partie de la décoration de son bâtiment ; mais cela ne suffit pas. Le constructeur ne doit y voir qu'un préservatif du feu du ciel, et cette considération doit primer toutes les autres. Si l'architecte n'accepte pas telle hauteur de paratonnerre, qui lui semble dépasser les limites du bon goût, s'il n'en veut pas placer là où il est utile qu'il y en ait, le constructeur, dont la responsabilité morale est engagée, doit insister.

Pour l'un comme pour l'autre, nous rappellerons les règles dont on ne doit pas s'écarter. La formule adoptée jusqu'à

présent, et que rien n'est venu infirmer, consiste à considérer les flèches comme préservant un cône faisant à leur pointe un angle de 45 degrés, et dont la base aurait ainsi pour rayon la hauteur du paratonnerre. Ce cône préservateur ne s'arrête pas au faîte d'un bâtiment; il s'étend jusqu'au sol et protége ainsi toutes les parties de ce bâtiment. Les raisons qui ont conduit à établir cette règle reposent sur des expériences de cabinet; il n'est pas à. supposer que des expériences préalables aient été faites avec le feu du ciel lui-même : les mécomptes eussent pu devenir trop cruels. Mais rien ne s'oppose, en définitive, à l'adoption de cette théorie, d'ailleurs confirmée par la pratique, à la condition de se tenir dans les limites que nous indiquerons. Il ne faut pas, en effet, prendre cette règle à la lettre, car, à ce compte, une flèche d'une lieue de hauteur devrait préserver toute une grande ville. Si cela était, la dépense en vaudrait bien la peine, mais je doute qu'une telle flèche pût être utile. Les nuages se trouvant le plus souvent à une distance du sol bien inférieure à une lieue, la flèche les dépasserait et ne remplirait pas le but proposé; et même en admettant que les nuages fussent à une distance du sol supérieure à la hauteur du paratonnerre, il faudrait, pour que celui-ci fonctionnât dans de bonnes conditions, que ces nuages restassent suspendus en nappes horizontales soumises à son action continue; or, cette dernière condition n'est rien moins que conforme à la réalité, par suite des vents violents qui règnent pendant les orages. Nous verrons plus loin, à ce sujet, quelles sont les opinions de Gay-Lussac sur les paratonnerres d'églises très-élevées.

Quelle limite faut-il donc prendre pour cette hauteur?

On a fixé presque partout 10 mètres comme hauteur maximum des flèches. Je doute qu'au-dessus de cette dimension la pointe garantisse un rayon égal à la hauteur, surtout quand les nuages sont poussés latéralement contre la flèche. Nous

admettrons donc cette dimension comme limite, à moins que la flèche ne s'appuie sur un bâtiment de peu d'élévation et dominé lui-même par d'autres constructions, en recommandant surtout, comme précaution plus sérieuse que l'augmentation de la hauteur des flèches, l'augmentation du nombre de ces appareils.

La limite de l'effet utile des flèches, sur de très-hauts monuments et dans les pays montagneux, dépend du plus ou moins d'éloignement habituel des nues. Cet éloignement peut varier suivant les contrées, mais l'œil observateur d'un habitant sait parfaitement l'apprécier.

On fait les flèches des paratonnerres souvent trop courtes; quelle en est la raison? Est-ce une raison d'économie? Trop souvent, hélas! Est-ce une raison de goût? Nous n'avons pourtant jamais vu une flèche de 8 à 10 mètres de hauteur déparer un château ou un édifice. Est-ce par ignorance? C'est surtout ce que nous nous efforçons ici de combattre. Bien des modifications ont dû être apportées dans la construction des paratonnerres, depuis que l'on fait une partie des bâtiments en fer; car les masses métalliques appellent l'électricité. Si l'on place, proche l'une de l'autre, deux petites constructions, l'une en bois ou en pierre, l'autre en métal, et que l'on promène au-dessus d'elles un plateau électrisé, l'étincelle jaillit sur celle en métal sans se décharger sur l'autre. Si deux bâtiments sont bâtis près l'un de l'autre, l'un ne renfermant que des matériaux de bois et de pierre, l'autre renfermant des masses métalliques, ce dernier sera donc foudroyé de préférence.

On doit en conséquence, quand il s'agit de constructions métalliques, modifier les règles posées plus haut : donner plus de hauteur aux flèches des paratonnerres sur les bâtiments renfermant des charpentes en fer; faire ces flèches plus nombreuses et plus rapprochées; leur donner des pointes multiples; en un mot, augmenter autant que possible toutes les précautions que l'on prend d'habitude. Mais cela ne veut pas

dire qu'il faille se relâcher de sa sollicitude pour les constructions où il n'entre que peu ou point de métaux.

Bien des personnes croient que le paratonnerre doit servir seulement de conducteur à la foudre qui le frappe. On ne doit jamais oublier qu'il doit avoir un effet préventif, et que le pouvoir des pointes est de désarmer les objets électrisés sans qu'il se produise de commotions. Dès lors, plus une pointe est portée haut et approche des nues menaçantes, plus son pouvoir a d'effet et aide à prévenir l'explosion.

Placez donc votre paratonnerre à l'endroit le plus élevé et le plus central de l'édifice ; placez en deux, placez en dix s'il le faut. Une économie de cent francs sur un monument qui coûte un million est une faute ; quand le paratonnerre doit couvrir la vie des personnes, assemblées parfois en grand nombre dans un édifice, elle devient un crime.

Quand le bâtiment est d'une étendue assez grande pour échapper en partie à l'action d'une seule flèche, rendez-vous compte du nombre d'appareils nécessaires pour le couvrir entièrement. Il est facile de déterminer sur le plan d'un bâtiment la place des paratonnerres d'après leur influence, et par suite le nombre de flèches qu'il faut poser et la hauteur qu'elles doivent avoir.

On établit parfois aux angles des bâtiments considérables des paratonnerres inclinés, comme pour servir d'avant-garde aux flèches centrales : cela est élégant d'aspect, mais fait perdre aux paratonnerres en élévation ce qu'on leur donne en inclinaison, et, à cet égard, c'est assez mal conçu.

Nous conseillons pour la flèche centrale l'emploi des pointes multiples dont on parlera dans le cours de cet ouvrage (chapitre VII).

Dans les pays montagneux, où les orages se forment à la hauteur des habitations, et souvent au dessous, où les courants aériens sont d'une grande violence et passent des chaleurs solaires à la fraîcheur de l'ombre des montagnes et au froid des

glaciers, les orages ont des allures qui échappent à l'analyse, de même que leurs effets ont des causes locales qui ne se présentent pas dans les plaines. Les habitants des diverses contrées connaissent ces faits et peuvent éclairer le constructeur sur ces particularités, s'il n'est lui-même du pays. On doit savoir aussi quelle est la fréquence relative des orages dans les contrées où l'on a à construire des paratonnerres, et quelle est la direction qu'ils prennent. La situation topographique de certaines contrées expose plus spécialement telles de leurs villes et de leurs vallées, tels de leurs monuments, à des courants aériens portant l'orage avec eux. Il est d'autres points, au contraire, où les phénomènes orageux apparaissent rarement, et d'autres où ils n'apparaissent jamais. A Nantes, par exemple, où il se passe peu d'années sans qu'un ou plusieurs orages sévissent, et sans que des constructions soient frappées, la cathédrale, qui occupe un des points culminants de la ville, est dépourvue de paratonnerre et n'a jamais été foudroyée. Il y a telle commune, tel château des bords de la Loire, que l'orage n'a jamais atteints, tandis que des localités voisines, éloignées de quelques centaines de mètres seulement, sont menacées chaque année. Les orages, disent les habitants, semblent, quand le vent les porte vers nous, se détourner et même se diviser au-dessus de nos têtes.

Quelle est la cause des influences contraires exercées par les diverses parties du sol sur l'électricité athmosphérique? La science est encore, à ma connaissance, impuissante à la trouver; car le cours des rivières, les élévations des coteaux, sont à peu près semblables dans les contrées épargnées et dans celles que visite assez souvent le feu céleste. Y a-t-il une corrélation entre ces phénomènes et les variations locales de l'aiguille aimantée? Je ne saurais me prononcer à cet égard; mais peut-être des observations faites avec la boussole fourniraient-elles la raison de ces faits.

Selon la fréquence et la direction habituelle des orages

locaux, on doit déterminer le nombre et la place des paratonnerres, ainsi que la nature des pièces qui les composent. Le passage souvent répété des chocs électriques endommage les organes qui les essuient. La connaissance locale du parcours des orages devra faire donner aux appareils de préservation, des formes et des dimensions plus ou moins puissantes. Nous reviendrons sur cette considération, dans les détails de construction que nous donnerons plus loin.

On ne permettra jamais qu'un objet quelconque, arbre ou maison, dépasse en hauteur le paratonnerre ; on exposerait cet objet à un danger que la flèche ne saurait plus couvrir, et ce serait un non-sens, car cet objet préserverait la flèche de l'approche des nuages. Les personnes abritées sous cet arbre et les habitants de cette maison seraient plus en danger que s'il n'existait pas de paratonnerre. Il faut donc que les paratonnerres s'élèvent au-dessus de tout ce qui les entoure et surtout au-dessus des habitations voisines. C'est un préjugé de dire que les paratonnerres attirent la foudre ; mais dans les phénomènes dont la nature est insaisissable, qui sont invisibles, bien des choses échappent forcément à l'observation exacte. Il semble certain que la flèche doit constituer une sorte de centre d'appel pour l'électricité ; si donc le paratonnerre est établi dans de bonnes conditions, il aura pour effet de désarmer les nuages orageux ; mais s'il est mal construit et insuffisant, la foudre le frappera, et il deviendra un danger.

Certaines cathédrales, à notre connaissance, n'ont pas de paratonnerres au haut de leurs tours ; mais, en revanche, leur chevet en est pourvu. Ainsi, à 30 mètres au-dessous des tours se dressent quelques paratonnerres de 3 ou 4 mètres de hauteur, parfaitement inutiles contre les orages, dont ils sont protégés par les tours.

Les explications qui précèdent montrent que la hauteur convenable à donner aux flèches doit être modifiée suivant

les circonstances et les localités. On ne peut, à cet égard, donner de règle précise. Nous fournirons quelques renseignements supplémentaires dans le chapitre suivant, qui renferme la théorie des pointes.

Voici le passage des *Instructions* de Gay-Lussac sur les paratonnerres, relatif à la hauteur des flèches; il contient des indications d'une haute portée :

« On admet, d'après l'expérience, qu'une tige de paraton-
« nerre protége efficacement contre la foudre, autour d'elle, un
« espace circulaire d'un rayon double de sa hauteur. Ainsi,
« d'après cette règle, un bâtiment de 20 mètres (60 pieds) en
« longueur ou en carré n'aurait besoin, pour être défendu,
« que d'une seule tige de 5 à 6 mètres (15 à 18 pieds) de hau-
« teur, élevée sur le milieu de son toit. Un bâtiment de 40 mè-
« tres (120 pieds), d'après la même règle, serait défendu par
« une tige de 10 mètres (30 pieds), et l'on en place effective-
« ment de semblables ; mais il serait préférable, au lieu d'une
« seule tige, d'en élever deux de 5 à 6 mètres (15 à 18 pieds)
« de hauteur, et de les disposer de manière que l'espace au-
« tour d'elles fût également protégé de toutes parts, ce à quoi
« l'on parviendrait en les plaçant chacune à 10 mètres
« (30 pieds) de l'extrémité du bâtiment, et par conséquent à
« 20 mètres (60 pieds) l'une de l'autre. Pour trois ou un plus
« grand nombre de paratonnerres, on suivrait la même règle.

« Les paratonnerres des tours et des clochers, en raison de
« leur grande élévation, doivent certainement étendre leur
« sphère d'action plus loin que s'ils étaient moins élevés ;
« mais cette action s'étend-elle, comme on l'a supposé pour des
« tiges de 5 à 10 mètres, à une distance double de la hauteur
« de leur pointe au-dessus des objets qu'ils dominent? Il est
« possible qu'elle s'étende même plus loin; mais l'expérience
« ne nous ayant encore rien appris à cet égard, il serait pru-
« dent d'armer les églises de paratonnerres, en admettant que
« ceux des clochers ne protégent efficacement autour d'eux

« qu'un espace d'un rayon égal à leur hauteur, au-dessus du
« faîtage de leur toit. Ainsi, le paratonnerre d'un clocher s'é-
« levant de 30 mètres au-dessus du toit d'une église, ne le
« défendrait plus à 30 mètres de l'axe du clocher, et si le toit
« s'étendait au delà, il serait nécessaire d'y placer les para-
« tonnerres, d'après la règle que nous avons prescrite pour les
« édifices peu élevés. »

CHAPITRE III.

POINTES DES FLÈCHES.

Il nous semble utile de faire précéder l'étude des pointes de quelques aperçus généraux sur le phénomène de la foudre, et de considérations théoriques.

Phénomènes généraux. — La foudre a pour cause l'électricité atmosphérique.

L'électricité est partout à l'état latent dans la nature : dans les constructions, les roches, les plantes, les animaux. La terre est le réservoir commun de cette électricité, réservoir où viennent aboutir et s'amortir tous les courants formés directement par la nature, ou ceux créés par l'industrie humaine.

Quand l'électricité se fait sentir et produit, soit les phénomènes observés dans nos machines, soit les orages, c'est qu'elle est sortie de son état d'équilibre, état dans lequel elle ne nous apparaissait pas sous un aspect sensible bien qu'elle existât. Quand l'électricité se rend sensible, on dit qu'elle est en mouvement.

Les mouvements électriques généraux de la nature sont décelés par les aurores boréales. Les mouvements partiels ou locaux constituent les orages. Les aurores boréales sont des aigrettes électriques volumineuses visibles aux pôles. Quand elles se manifestent, il se produit dans le sol des mouvements

électriques qui, bien que non perceptibles pour nos sens, à cause de leur translation lente et uniforme, agissent puissamment sur les appareils de télégraphie.

J'ai construit une balance électrique faite pour mesurer la puissance des piles : une pile télégraphique de force moyenne enlève quelques grammes, tandis que la puissance des courants terrestres enlève jusqu'à 3 kilogrammes.

Quelle est la cause des aurores boréales? Ce ne peut être, me semble-t-il, que le déplacement électrique déterminé dans notre globe par le changement des saisons, lequel entraîne à sa suite, d'un pôle à l'autre, une immense quantité de chaleur, de lumière et d'électricité. Ces phénomènes magnifiques ne sont visibles que dans l'immense nuit de six mois qui envahit un pôle; ils s'y manifestent presque constamment, tandis que chez nous nous n'en sommes que très-rarement témoins. Sans doute, l'électricité complémentaire doit se manifester à l'autre pôle, mais le jour qui y règne empêche qu'elle ne soit vue. L'instrument qui sera décrit chapitre XIX en ferait peut-être connaître le passage dans nos climats. Ne serait-ce pas là l'origine des effets électriques observés en temps calme?

Les mouvements électriques naturels locaux, les orages, sont produits ordinairement par les nuages de l'atmosphère. Quand les vents soufflent en sens contraire et que les nuées qu'ils poussent se trouvent pressées en un même point, ces nuées, provenant de sources diverses, renferment toujours des quantités inégales de chaleur ou d'humidité; l'électricité jaillit à leur contact, et l'orage se produit. Lorsque, dans des couches d'air chargées de nuages, certains de ces nuages sont pour ainsi dire *secs*, tandis que ceux qui sont le plus près de la terre restent chargés d'humidité et absorbent de plus celle de la terre, cette différence d'état constitue une opposition électrique dont les effets se manifestent par des orages, les nuages différents formant ensemble une pile électrique immense. Les nuages saturés d'humidité, que la

présence de l'électricité y maintient parfois, laissent échapper ordinairement une pluie abondante dès que les premières décharges ont diminué leur faculté absorbante.

La Société des sciences de Toulouse proposa, il y a quelques années, un prix à qui donnerait un procédé certain pour distinguer les nuages électrisés positivement, de ceux électrisés négativement. Franklin et les savants français avaient cherché longtemps si les nuages étaient électrisés positivement ou négativement. Le résultat de leurs expériences et de leurs discussions fut que les nuages orageux étaient tantôt d'une nature, tantôt d'une autre, et que, dans le cours du même orage, il passait successivement sur les paratonnerres des nuages en opposition électrique, qui affectaient inversement les appareils. L'appareil que je décrirai au chapitre XIX résout directement la difficulté. Même sans instrument, il est facile de décider cette question. L'œil distingue aisément, en temps d'orage, certains nuages qui se dissolvent et disparaissent graduellement. D'ordinaire, ils sont violemment chassés par les vents, ils paraissent déchiquetés comme des haillons déchirés. Ces nuages sont chargés d'électricité négative, et l'air qui les entoure est électrisé positivement; ils peuvent être considérés comme le zinc d'une pile. Les nuages positifs sont plus près de terre et semblent calmes, suspendus comme une nappe. On voit entre eux et la terre un mouvement de vapeurs qui s'élèvent ou de pluie qui tombe, suivant la phase de l'orage. Ces nuées sont positives, et l'air qui les entoure est négatif. Cette observation est confirmée par les passages suivants de Becquerel :

« On explique sans difficulté l'électrisation positive des nuages. Considérons le nuage à l'instant où il se forme dans un air tranquille et possédant un excès d'électricité positive ; cette électricité se réunit en couches très-minces à la surface de chaque globule vésiculaire, que l'on peut considérer comme bon conducteur. Dans le cas où l'électricité est faible et où les

globules sont peu rapprochés, il n'en résulte aucun effet particulier, et le nuage n'est pas encore orageux : seulement il paraît plus fortement électrisé que l'air environnant, parce qu'il est meilleur conducteur; si le nuage est très-dense, les vésicules qui le composent sont plus rapprochées, et on peut alors le considérer comme un conducteur continu ; toute l'électricité qui se trouvait dans l'intérieur autour des globules vésiculaires, se porte donc à la surface, où elle est tenue en équilibre par la pression de l'air ambiant. Il suit de là que lorsqu'un nuage orageux se forme, il doit renfermer autant d'électricité que la masse d'air qui lui a fourni tous les globules de vapeur; le nuage ayant une certaine étendue, on conçoit comment une quantité d'électricité, dont l'intensité est faible en chaque point quand elle est disséminée dans un grand espace, acquiert une tension énorme quand elle se porte à la surface du nuage. Tel est le mode de formation des nuages chargés d'électricité positive. Quand ces nuages sont poussés par les vents, ils perdent leur électricité dans leur course et cessent alors d'être orageux.

« Les effets électriques observés auprès des cascades indiquent un des modes de formation des nuages négatifs : si l'on présente un électromètre atmosphérique armé de sa tige métallique, à la pluie très-fine qui résulte de l'éparpillement de l'eau dans le voisinage d'une cascade, on obtient aussitôt des signes d'électricité négative.

« D'après le mode de formation des nuages positifs et négatifs, il résulte qu'une condensation de vapeur, que la formation d'un brouillard est accompagnée d'électricité, et que la pluie doit donner des signes d'électricité. C'est, en effet, ce que l'on observe.

« Les nuages orageux sont situés à des hauteurs diverses. Certaines roches qui forment la partie culminante des plus hautes montagnes portent souvent des traces de fusion et de vitrification opérées par la foudre ; ces effets de fusion ayant

été observés au sommet de la montagne de Tolucer, par M. de Humboldt, à 4,620 mètres au-dessus du niveau de la mer, il en résulte que les orages peuvent se former à cette hauteur ; de nombreuses observations prouvent, d'un autre côté, qu'il s'en forme au-dessous à diverses distances du sol.

« Peltier dit avoir toujours observé que les nuages fortement chargés d'électricité négative ont une teinte gris plombé ou d'ardoise, tandis que les nuages positifs sont blancs, rosés ou orangés. Il assure avoir remarqué que lorsque la teinte de ces derniers nuages se présente après plusieurs jours pluvieux, c'est un indice d'amélioration dans le temps, tandis que le contraire a lieu quand cette teinte se manifeste à la suite de beaux temps, attendu qu'elle indique un commencement de condensation de vapeur. Quand on aperçoit un nuage d'une teinte bleu plombé en tête et blanchâtre à la suite, on est certain de trouver successivement les signes de chacune des deux électricités. »

Considérations théoriques sur l'électricité. — On peut considérer l'électricité comme un fluide double, formé de deux fluides inverses et contraires, qui se complètent l'un par l'autre et s'attirent, tandis que chacun d'eux est répulsif de ses propres parties. Quand l'un de ces fluides est en excès sur l'autre, il y a rupture d'équilibre ; et de la tendance des fluides contraires à se rejoindre naissent les manifestations magnifiques et terribles qui parfois bouleversent la nature. La terre, comme un réservoir immense, fournit toujours le fluide complémentaire de celui des nuages ; *elle semble attirer vers elle le fluide en excès.*

Ici faisons une réserve. Nous avons écrit le mot *fluide ;* or, la science a prouvé que l'électricité n'était pas *un fluide.* De même que la chaleur, la lumière et le son, c'est une manifestation d'un état moléculaire des corps. Le son, par exemple, n'est pas un fluide, mais le résultat de l'ébranlement, de la

vibration de l'air ou des corps qui le transmettent. Ce qu'on regardait autrefois comme des fluides, ce sont des modifications particulières de la nature des corps ou de l'éther qui les entoure et les pénètre. On ne peut dire au juste ce qu'est l'électricité, aucun des systèmes proposés jusqu'à ce jour pour expliquer ses effets n'offrant assez de certitude, ni même de probabilité, pour pouvoir être adopté sans réserve. Nous continuerons à employer le mot de fluide, bien qu'il nous paraisse impropre, parce qu'il se prête mieux que tout autre à l'explication des effets qu'on étudie.

L'électricité peut donc être considérée, soit comme une dualité formée de deux fluides (appelés autrefois fluide résineux et fluide vitré, aujourd'hui fluides positif et négatif), soit comme une unité constituée par un seul fluide, tantôt *en plus* (fluide positif), tantôt *en moins* (fluide négatif). Si l'on veut considérer l'électricité comme une dualité — les différents systèmes sont aussi raisonnables et faciles à admettre les uns que les autres, — je la comparerai au magnétisme minéral, dont les attractions et les répulsions ont une certaine analogie avec les attractions et les répulsions électriques. Si, au contraire, nous la considérons comme une unité, nulle comparaison ne rendra mieux notre pensée que celle de la vapeur, formée et renfermée dans sa chaudière, avec l'électricité développée dans une pile et contenue par ses isolants, l'une tendant à se répandre dans le vide du condenseur, comme l'autre dans les objets qui contiennent l'électricité contraire : d'un côté nous avons en présence la pression et le vide, de l'autre côté le nuage orageux ou la machine électrique chargée et la terre ; ici sont les tuyaux de conduite de vapeur, là les fils conducteurs métalliques ; ici la machine avec le résultat industriel à produire, là l'appareil télégraphique utilisant les pressions électriques. Bien souvent il nous arrivera de prendre des termes de comparaison à la vapeur, pour rendre compte des effets invisibles de l'électricité.

On dit ordinairement que les paratonnerres attirent la foudre; on regarde encore le jet de la foudre comme une chute, et l'on dit: « le feu du ciel est tombé ». Quand on décrit ses effets, quand on suit son parcours, on dit : « le tonnerre est tombé là; il est passé par ici, ensuite ici, puis là ». Ces expressions erronées conduisent à une fausse entente des effets de la foudre, et à de très-grandes fautes dans la construction des appareils de préservation. Notre désir est de redresser ces erreurs, afin de bien expliquer ce que nous voudrions qu'on fît pour que les paratonnerres fussent complets et leurs effets certains.

La foudre ne tombe pas. C'est un échange de fluides qui se produit entre deux corps électrisés, lorsque la tension électrique de ces fluides est assez intense pour vaincre la résistance des corps isolants qui les séparent. Le ruban de feu qui unit le nuage à la terre va aussi de la terre au nuage.

Les fluides contenus dans les nuages, cherchant à s'équilibrer, sont attirés vers la terre. Pendant que l'électricité céleste tend à se rendre à la terre, tous les objets terrestres voisins de la nue sont électrisés en nom contraire, et la pression électrique des deux fluides différents va jusqu'à vaincre la résistance de l'air. L'équilibre électrique est reconstitué violemment, et cette reconstitution est accompagnée d'une explosion, qui est la foudre.

L'électricité prend toujours le chemin le plus court et le plus facile pour se rendre au point qui l'attire, et si ce chemin est formé de corps conducteurs ou d'isolants imparfaits, il est le résultat mathématique du coefficient de conductibilité de ces corps divisé par la distance. Quand, donc, jaillit un coup de tonnerre, son parcours est un résultat parfaitement logique, et toutes les bizarreries qu'on croit remarquer ne sont nullement l'effet du hasard.

Si l'on voulait imiter les zigzags et les sinuosités de la foudre et des éclairs, il suffirait de répandre de la limaille métallique sur un papier ou un verre plat, et de faire passer

une étincelle électrique, au moyen d'une forte pile ou d'une bobine d'induction, dans les grains de cette limaille, qui ne doivent pas se toucher; le parcours de cette étincelle représenterait celui des rubans enflammés des orages, conduits ainsi irrégulièrement entre les gouttes humides qui saturent l'air.

Parfois, les nuages renfermant l'électricité complémentaire de celui qui a lancé la foudre à la terre, en sont assez éloignés pour que le trajet d'un éclair entre eux soit plus difficile à accomplir que celui conduisant au sol. Ces nuages ont dû avoir dans leur voisinage terrestre un ou plusieurs points d'une attraction constituant équilibre. Dans ce cas, la pression électrique du premier nuage cessant par l'explosion de la foudre, leur équilibre se trouve rompu, mais ils le rétablissent au même intant, sans bruit, sans éclat, sans apparence sensible : les personnes et les choses éprouvent alors un choc électrique quelquefois aussi puissant que le coup que j'appellerai principal. Parfois, des éclairs et toutes les apparences de la foudre signalent ce rétablissement de l'équilibre électrique : cela est nommé choc en retour. Parfois aussi le choc en retour n'a pas d'effet violent, suivant que son équilibre a eu plus ou moins à faire pour s'établir et l'a pu faire plus ou moins subitement, en raison de la nature des objets qui lui ont servi de conducteur; parfois encore, un choc en retour se fait sentir sans qu'on sache où est l'orage, ni d'où vient le coup mystérieux qui nous frappe, quand cet orage est loin de la portée du regard.

Souvent un orage est produit par un nuage électrisé violemment, venant on ne sait d'où, porté par un courant d'air sec; quand il passe au-dessus des villes, il s'échappe de ses flancs des coups terribles; c'est ce qu'on nomme les orages secs. Ce sont les plus dangereux.

On voit aussi, mais bien rarement, une boule de feu semblable à un bolide, détachée probablement d'un éclair, pendant le chaos d'un orage, par une lame d'air sec et rapide. Elle se

promène sans poids, flottant sans direction ; puis, au contact d'un objet métallique ou de tout autre conducteur, elle éclate violemment. Un fait curieux de ce genre est rapporté par Deguin dans son *Traité de physique*, tome III.

« Un tailleur, logé près du Val-de-Grâce, à Paris, était assis devant sa table, quand il vit le châssis garni de papier qui fermait la cheminée s'abattre doucement, et un globe de feu gros comme la tête d'un enfant en sortir lentement et se promener dans la chambre à quelque distance des briques du pavé. Ce globe s'approcha des pieds de l'ouvrier, qui, pour en éviter le contact, dérangea ses pieds, mais sans précipitation. Après quelques évolutions vers le milieu de la chambre, le globe s'éleva verticalement à la hauteur de la tête de l'homme, qui dut se redresser et se pencher sur sa chaise pour éviter d'être touché au visage. Il n'éprouva, du reste, aucune impression de chaleur; puis le globe s'allongea un peu et se dirigea obliquement vers un trou fermé par une feuille de papier, et pratiqué à un mètre au-dessus de la tablette de la cheminée; le globe détacha le papier sans l'endommager, entra dans le canal de la cheminée, et, arrivé tout en haut, éclata avec fracas en projetant à une grande distance les débris de la partie supérieure. »

Le paratonnerre doit prévenir, amortir ou atténuer toutes les formes du tonnerre.

Conductibilité électrique. — Les substances de tout genre peuvent être divisées en corps conducteurs de l'électricité et en corps isolants, sans qu'on connaisse toutefois de conducteurs ou d'isolants absolus. Tous sont conducteurs à différents degrés. Au premier rang, il faut placer les métaux, puis les métalloïdes, les liquides salins à différents degrés, l'eau, les objets humides. Parmi les isolants sont le verre et le cristal, les résines, les gommes, les textiles, le bois, l'air atmosphérique, etc.

Nous placerons ici le tableau des coefficients de conducti-

bilité et de résistance au passage de l'électricité, qu'il est absolument utile de consulter pour apprécier les qualités des matières à employer dans la construction des paratonnerres.

TABLEAU DES CONDUCTIBILITÉS

ET DES RÉSISTANCES ÉLECTRIQUES,

Noms des substances.	Coefficients de conductibilité.	Coefficients exprimant la résistance au passage de l'électricité.
Argent	100,000,000. »	100. »
Aluminium	98,000,000. »	102. »
Cuivre[1]	91,440,000. »	109 86
Or	65,460,000. »	152.77
Zinc	24,160,000. »	413.83
Étain	13,660,000. »	720. »
Fer	12,250,000. »	824.82
Laiton	12,000,000. »	833.33
Plomb	8,250,000. »	1,200. »
Platine	8,150,000. »	1,243.47
Nickel	7,700,000. »	1,428. »
Mercure	1,800,000. »	5,550.15
Graphite	560,000. »	17,857. »
Acide azotique brut du commerce	93.77	10,660,000. »
11 gr. eau, 1 gr. acide sulfurique	88.68	11,270,000. »
Eau saturée de chlorure de sodium	31.52	31,700,000. »
250 gr. eau, 30 gr. iodure de potassium	11.20	89,280,000. »
Eau saturée de nitrate de zinc	9. »	111,100,000. »
Eau avec 1/20,000 d'acide nitrique	8.13	123,000,000. »
Eau saturée de sulfate de cuivre	5.42	184,500,000. »
Eau de pluie bien pure	2.46	406,530,000. »
Eau distillée	0.14	7,692,300,000. »
Gutta-percha à 10° centigrades	0.002	40,162,000,000. »
— 0° id. [2]		140,380,000,000. »

1. Ce coefficient est très-variable, en raison de la pureté du cuivre et de sa provenance. Celui du commerce ordinaire est de 40,000,000 à 70,000,000, et celui de choix, également du commerce, de 85,000,000 à 95,000,000.

2. La résistance de la gutta-percha diminue avec l'élévation de la température, et n'est plus que 1 à 24°, température de la fabrication, et de 0.394 à 40°.

Coke.....
Acides.....
Solutions salines.....
Eau.....
Glace très-froide et sèche.....
Bois sec.....
Porcelaine.....
Papier sec.....
Soie.....
Verre.....
Soufre.....
Gutta-percha.....
Caoutchouc.....
Écaille.....
Gomme laque.....
Paraffine [1].....

Les ouvrages des physiciens ne donnent pas pour ces différentes substances la valeur des coefficients. Elles ne peuvent s'obtenir sous une forme suffisamment régulière pour qu'on puisse se livrer à des observations exactes et dignes d'être chiffrées. Nous les avons classées suivant l'ordre décroissant de leur conductibilité relative.

La résistance de l'air atmosphérique, comparée à celle de l'eau distillée prise pour unité, est représentée par 49.480.

A la température ordinaire et presque jusqu'à la température rouge, l'air ne laisse passer aucun courant. De la température rouge à la température blanche, la résistance diminue graduellement.

Cette diminution diffère pour les gaz de diverses natures. La pression influe peu sur leur résistance, à moins qu'elle ne s'abaisse et que le gaz ne s'échauffe en même temps.

La conductibilité des métaux s'abaisse avec l'élévation de la température, mais cette diminution du pouvoir conducteur n'est pas très-sensible et, de 1 à 30 ou 40 degrés centigrades, elle peut être négligée.

La conductibilité électrique des liquides salins et des acides s'élève, au contraire, avec la température. Il suffit d'une différence de 20 à 30 degrés pour la doubler : de 0 à 100 degrés, elle peut être quadruplée. M. Becquerel l'évalue à 0.0286 par degré.

1. Les différents coefficients cités dans cette table sont empruntés en très-grande partie à nos auteurs, puis à des auteurs américains et anglais, qui ont d'abord copié les Becquerel et les Pouillet. J'ai rapporté à notre unité de mesure les chiffres empruntés. Je n'ai pu malheureusement me procurer tous ceux que je désirais citer.

L'élévation par la chaleur du pouvoir conducteur de l'eau est peu connue, et n'est pas indiquée dans tous les auteurs. Cependant elle peut être considérée comme soumise à la loi des liquides et évaluée à 0.025 par degré.

Les coefficients indiqués sont le résultat d'expériences faites à 0 degré, ou de calculs s'y rapportant

A la température moyenne de notre climat, soit 15 degrés, l'élévation du coefficient de l'eau est de 0.4.

La capacité calorifique ou électrique des substances est bien différente suivant que ces substances sont ou non à l'état de pureté. Tels métaux réunis sont fusibles à un degré de chaleur moindre que chacun d'eux ne l'est séparément. Le laiton, par exemple, est beaucoup plus résistant à l'électricité que les deux métaux qui composent l'état d'alliage. Par contre, telles matières isolantes, ou presque isolantes, acquièrent, par leur dissolution dans l'eau, une conductibilité plus grande et pouvant être utilisée. Les sels et les gommes solubles sont dans ce cas, et leur faculté conductrice s'accroît avec leur température. Nous ne pourrions donner de ces phénomènes une explication précise. La corde mouillée du cerf-volant de Franklin était, comme nous l'avons vu, meilleure conductrice que ne l'eussent été séparément l'eau et la corde. Cela peut être dû à une action capillaire rendant bons conducteurs des corps qui, séparés, sont considérés comme complétement isolants.

La façade d'une maison, mouillée par l'averse d'orage, devient un conducteur offert à la foudre, qui la choisit alors de préférence à la façade sèche. Les mâts et le pont d'un navire, ses agrès mouillés et ses voiles humides, offrent de même à la foudre une conduite facile et constituent un danger très-sérieux; aussi les orages de mer produisent-ils souvent des accidents mortels. Les paratonnerres sont donc de la plus grande utilité à bord des navires.

Pouvoir des pointes. — Quand il s'établit entre la terre et les nuages une attraction électrique, celle-ci peut se traduire par une explosion. Le paratonnerre doit prévenir cette explosion en désarmant le nuage, et il faut pour cela que la pointe préservatrice soit le plus près possible du nuage menaçant.

Ici nous devons indiquer en quoi consiste le pouvoir des pointes.

Nous avons vu que la tension électrique se développait dans les corps par la rupture de l'équilibre électrique naturel. Les isolants renferment et emprisonnent en quelque sorte dans les conducteurs l'électricité qu'ils contiennent. Ainsi, le paratonnerre, depuis la terre jusqu'à la pointe, est, en temps orageux, comme rempli par l'électricité qui y est maintenue par des isolants, en premier lieu par l'air, l'un des meilleurs. Cette pointe est en regard de la nue électrisée, et les deux électricités, toujours de nom contraire, tendent à se combiner et sont attirées l'une vers l'autre.

Si l'on compare cette tension, qui est intérieure, à celle de la vapeur dans un vase clos, elle sera égale dans tous les points contre les parois, si ces parois sont sphériques (*fig.* 1); mais si ces parois sont angulaires (*fig.* 2), on peut la représenter comme s'exerçant le plus fortement dans les angles. La pression étant supposée représentée (*fig.* 1) par la distance d'une ligne *a'* au cercle *a*, cette ligne *a'* ne sera autre chose qu'un cercle concentrique à *a ;* mais dans la figure 2, où le récipient est figuré par un carré *b*, on verra que si la force est égale à la distance de la ligne *b'* aux parois, cette pression sera égale à *c d* près des surfaces planes, et à *c' d'* dans les angles.

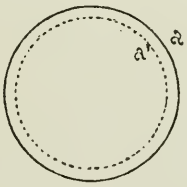


Fig. 1.

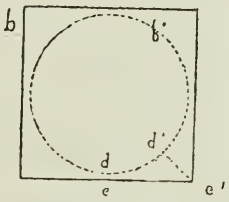


Fig. 2.

Si l'on figure une pointe (*fig.* 3), la pression sur les parois

cylindriques pourra être représentée par *e f*, tandis qu'elle le sera par *e' f'* dans la direction de la pointe. Quand l'acuïté de la pointe augmente, la tension électrique *e' f'* augmente aussi, et semble devenir presque infinie à mesure que la pointe, le seul objet qui renferme l'électricité, diminue de capacité et de puissance pour la maintenir.

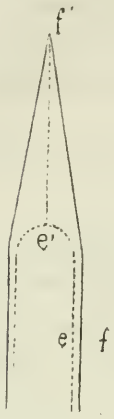


Fig. 3.

On peut démontrer le pouvoir des pointes de bien des manières. L'expérience la plus simple se fait à l'aide du petit instrument appelé le moulinet électrique (*fig.* 4). C'est une petite pièce métallique posée sur un pivot aigu et pouvant y tourner librement; si on électrise le pied posé préalablement sur une surface isolante, l'électricité emplit ce pied, puis l'axe, et enfin le moulinet; la pression électrique afflue aux pointes, l'électricité ne s'y peut maintenir et s'échappe. La différence de pression entre les pointes et le reste du moulinet le fait tourner d'un mouvement rapide jusqu'à ce que l'électricité, promptement dépensée, cesse d'agir; c'est un effet analogue au mouvement mécanique de la danaïde hydraulique.

Fig. 4.

Nous avons représenté sous une forme géométrique (*fig.* 1, 2 et 3) les résultats des expériences sur la répartition de l'électricité à la surface des corps conducteurs. Quand donc une puissante pression électrique, provoquée par une nuée voisine, attire toute l'électricité terrestre vers la nue, la pointe du paratonnerre qui est en regard acquiert une tension électrique considérable, et de cette pointe des flots d'électricité jaillissent vers la nue. Cette électricité, complémentaire de celle que renferme le nuage, annule cette dernière et désarme le nuage. Elle perce en quelque sorte la nue en lui prenant toute sa force, qui se déverse paisiblement dans la terre. Cette action est accompagnée d'une aigrette lumineuse qui se produit à la pointe du paratonnerre.

Je citerai ici une lettre que j'ai reçue de M. Viollet-le-Duc :

... « De fait, on sait peu de chose sur les paratonnerres et sur la meilleure manière de les disposer. Il y a des points évidemment élémentaires, tels, par exemple, que la continuité des conducteurs ; mais il en est d'autres qui sont obscurs encore. Les uns sont partisans des isolateurs en verre ; d'autres les considèrent comme inutiles et même nuisibles, et des deux parts on cite des exemples favorables ou défavorables à leur emploi.

« Il en est de même des masses métalliques. Aujourd'hui que le fer entre pour une forte partie dans les constructions, dans celles des combles notamment, on se contente habituellement de bien fixer les tiges au faîtage, puis on fixe les conducteurs à la base des combles, sur une pièce en communication franche avec le pied de la tige.

« C'est ainsi que j'ai opéré partout, notamment au château de Pierrefonds, si fort exposé aux coups de foudre ; et les paratonnerres ont bien fonctionné. J'en ai eu encore la preuve ces jours derniers (janvier 1873). Dans la nuit du 19 au 20, les éclairs n'ont pas discontinué de huit heures et demie du soir à trois heures du matin, avec coups de tonnerre incessants. Vers sept heures et demie, la plupart des hauts paratonnerres du château (qui en possède quinze) étaient surmontés d'une aigrette lumineuse, qui semblait immobile. Or, les conducteurs et leurs supports étaient le lendemain en parfait état, et nulle part le fluide n'avait produit de chocs. Mais faut-il (point essentiel) que les fers des combles soient *libres* et non point enfermés dans du plâtre ou des hourdis, comme cela avait lieu à la caserne du Prince-Eugène.

« Ce qui me paraît certain, c'est qu'il faut multiplier beaucoup les paratonnerres sur un bâtiment occupant une grande surface, et aussi les conducteurs. Là où j'ai établi beaucoup de tiges et beaucoup de conducteurs, je n'ai jamais aperçu le moindre désordre causé par le fluide, et, au contraire, lors-

qu'un paratonnerre est seul sur un point élevé et occupant d'ailleurs peu de surface, les désordres sont fréquents.

« La foudre tombe rarement sur un des arbres d'une forêt, tandis qu'elle frappe un arbre isolé.

« J'ai vu dans la forêt de Compiègne, sur un espace de 4 à 500 mètres en carré, une vingtaine d'arbres de futaie dont toutes les branches supérieures ont été plumées par la foudre; aucun de ces arbres n'était foudroyé dans les parties inférieures. »

. . . . . .

Cette lettre, d'un homme aussi éminent que M. Viollet-le-Duc, dont la profonde et savante érudition vient ainsi à mon aide, sert à appuyer la plupart des assertions que j'ai émises. J'aurai recours plus d'une fois à son témoignage dans le cours de ce travail.

Pointes de platine. — Nous avons vu que la pointe du paratonnerre de Franklin, faite en fer, avait été fondue par l'orage; de plus, nous savons que les extrémités des paratonnerres doivent être aiguës et non arrondies. On a fait, depuis Franklin, des pointes en platine. C'est de tous les métaux le moins fusible, le moins oxydable, et à tous égards celui qui convient le mieux pour la construction des pointes de paratonnerres.

Plus la pointe d'un paratonnerre est aiguë et effilée, plus elle a d'action. Dans les expériences d'électricité, quand on présente une pointe à un objet électrisé, il se décharge lentement et silencieusement; quand on lui présente un objet arrondi, la décharge a lieu par une étincelle. On sait ce que sont les étincelles de la foudre; dans une habitation cette étincelle peut être répercutée et devenir mortelle.

Nous allons appuyer cette observation sur des autorités. M. Viollet-le-Duc nous a déjà décrit clairement l'effet des paratonnerres de Pierrefonds. Dans le *Traité de Physique*,

de Pouillet (Électricité atmosphérique, chap. IV), on lit : «... Ainsi, les deux fluides opposés n'éprouvant nul obstacle à leur écoulement, l'un dans le sol et l'autre dans l'air, il est évident que l'accumulation d'électricité sur le paratonnerre sera nulle, et par conséquent l'explosion impossible. Pendant que le paratonnerre est ainsi en activité, pendant qu'il est traversé par des torrents de fluide électrique, on peut en approcher, on peut même le toucher ou le serrer avec la main sans danger : là où il n'y a pas de tension électrique, il n'y a pas de commotion à craindre. »

Dans les *Merveilles de la Science* (Paratonnerres, chap. IX), nous trouvons ce qui suit : «... Le paratonnerre que l'abbé Bertholon avait élevé sur l'église de Saint-Just, à Lyon, donna une preuve de l'efficacité de ces instruments, même quand ils sont privés de leur pointe. Le désir de voir la foudre tomber sur ce paratonnerre, afin de montrer à tous les yeux la manifestation de l'utilité de cet appareil, avait engagé Bertholon à différer assez longtemps de le compléter en l'armant de sa pointe. Il espérait que, dans cet état, la foudre, qui l'avait auparavant assez souvent visité, pourrait y revenir. Le 3 septembre 1780, après un orage accompagné de vent, de pluie et de fréquents tonnerres, un grand nombre de personnes virent un trait de feu serpentant venir frapper l'extrémité du paratonnerre désarmé de sa pointe; l'instrument le conduisit en silence jusque dans la terre, sans qu'il occasionnât de dommage à l'édifice. »

C'était fort bien pour l'édifice ; mais si une personne eût touché le paratonnerre en ce moment, l'eût-elle fait impunément? L'exemple de Richmann, que nous avons cité plus haut, est là pour répondre.

Si l'on voulait faire des bouts de paratonnerres arrondis, il ne serait pas besoin de métal inoxydable, car on n'aurait plus à conserver l'acuïté de la pointe. J'ai été très-surpris, je dois le dire, de voir à Paris, sur des édifices publics importants, des

sortes de flèches de paratonnerres tout en fer, arrondies par le bout, longues comme des manches à balai. Économie! économie! Ces paratonnerres sont un danger imminent pour les personnes que l'édifice abrite; il eût mieux valu n'en pas mettre, car il est absurde de placer un appel au feu du ciel là où il ne pourrait se produire qu'un choc fatal. Je repousse donc de toutes mes forces tout paratonnerre qui ne serait pas pourvu d'une pointe en platine ou en or, et dont la hauteur ne dépasserait pas de beaucoup tous les objets ou édifices environnants.

Fig. 5.

Je ne puis donner des détails sur la fabrication du platine. Peu de personnes s'occupent de ce travail. C'est une spécialité parisienne. On trouve à Paris des pointes toutes faites, ou bien on les y exécute sur commande.

Celles que je place ordinairement forment un cône de 7 à 10 degrés à l'ouverture de la pointe. La figure 5 les représente de grandeur d'exécution.

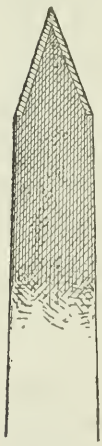


Fig. 6.

Il a été proposé des pointes simplement plaquées de platine; on alléguait que la surface seule devait et pouvait subir quelque altération. J'ai vu des pointes creuses qu'on proposait de souder sur un cône de fer (*fig.* 6). Je les repousse parce que le fer étant galvaniquement positif au platine, l'oxydation qui en résulterait dégraderait la flèche au point de contact. Je donne l'explication de cette propriété des métaux au chapitre suivant. La pointe n'est plus assez effilée avec ce système. Si l'on est guidé par le désir de réaliser une économie, on fait fausse route, car l'économie est minime et le résultat des plus défectueux.

Je permettrais la disposition suivante consistant à faire tarauder l'extrémité de la tige en cuivre (non en fer) dans

le platine, en économisant ainsi la vis du précieux métal (*fig.* 7).

La pointe de platine, faite comme il vient d'être dit, est vissée sur la partie supérieure de la tige de cuivre et doit y être soudée à la soudure d'argent ou d'étain ; dans ce dernier cas, il faut la cheviller.

Fig. 7.

Cette dernière précaution peut n'être pas suffisante. Un paratonnerre de ce genre, que je vis mettre en place, avait été frappé à la base à coups de marteau par les ouvriers charpentiers chargés du montage. La pointe avait été arrachée par les vibrations violentes de la flèche, produites par les coups de marteau, et que le platine avait ressenties plus violemment que la barre de fer en raison de sa plus grande densité. Les pointes ne seront donc jamais assez solidement fixées, et il faut se garder de tout choc contre les flèches.

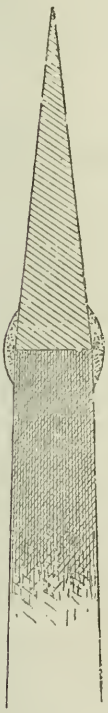


Fig. 8.

Je ne décrirai pas ici les pointes en cuivre ou en métal commun, arrondies ou aiguës, ni toute autre combinaison, que je considère comme mauvaises.

Les *instructions* de Gay-Lussac ne donnent pas de détails sur les pointes, mais Pouillet les décrit, et la construction qu'il recommande est bonne (*fig.* 8) : L'aiguille de platine a 5 centimètres de longueur; elle est soudée à la baguette de cuivre avec de la soudure d'argent, et on enveloppe encore cette soudure avec un petit manchon de laiton. Certaines personnes font ce manchon ou enveloppe après la pose avec de la soudure d'étain.

CHAPITRE IV.

FLÈCHES EN CUIVRE.

La tige de cuivre n'est pas absolument nécessaire : c'est une facilité pour la construction. On peut adapter directement la pointe en platine sur la flèche en fer.

Cependant il ne me semble pas toujours facile de bien placer un objet aussi délicat que la pointe en platine sur la pièce en fer, qui est, en général, assez grossière. La pointe en platine serait dépendante de tous les travaux de la pose, des coups et des froissements que cette pose nécessite. De plus, le contact du métal le moins oxydable, le platine, avec l'un des plus accessibles à la dissolution, le fer, produirait une action galvanique qui détruirait infailliblement leur ajustement par la rouille et altérerait la conduite. J'ai eu l'occasion de démonter une flèche où l'on avait soudé à l'étain la pointe en platine avec le fer, et, soit effet de la foudre ou soit effet du temps, cette soudure était réduite à un dépôt terreux.

Il me semble utile ici d'expliquer l'action galvanique des métaux en contact, bien que cela n'ait pas trait directement à la construction des paratonnerres ; cette action n'est pas comprise de tout le monde, ni comprise de la même manière, et il est bon d'être en communion d'idées avec ses lecteurs.

Lorsque deux métaux de nature différente sont en contact,

il se produit à leur point de jonction un effet électrique. Soient deux rondelles de métal (*fig.* 9), l'une en cuivre, *a*, l'autre en zinc, *b*. Quand elles sont séparées, les fluides sont à l'état de repos ou d'équilibre; mais, dès qu'elles se touchent, l'équilibre est rompu, les fluides opposés se repoussent; le métal le moins oxydable, le cuivre, devient électrisé négativement ; le métal le plus oxydable, positivement. Si l'on soudait un conducteur à l'une et à l'autre des rondelles, les deux électricités se répandraient dans ces conducteurs, et, quand ils seraient rapprochés l'un de l'autre, un courant circulerait entre eux allant du positif au négatif. Si l'on active au moyen d'un acide la force électro-motrice ainsi développée, on constitue une pile dont la puissance se multiplie à mesure qu'on augmente le nombre des couples. C'est en cela que consiste la découverte de Volta.

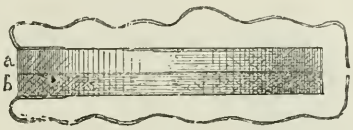


Fig. 9.

Quand deux métaux sont ainsi accolés, le plus oxydable des deux devient plus facilement attaquable par les agents extérieurs qu'il ne l'est isolément, et il préserve d'autant le second. C'est sur cette découverte, dont Sorel a su faire une application industrielle, que repose la galvanisation du fer. On a établi une échelle des métaux, suivant la force électromotrice de chacun d'eux; ils sont disposés comme suit, les plus oxydables les premiers [1]:

Potassium.	Fer.	Argent.
Baryum.	Bismuth.	Palladium.
Zinc.	Antimoine.	Or.
Cadmium.	Plomb.	Charbon.
Étain.	Cuivre.	Platine.

Quand les métaux sont plongés dans un acide, cet ordre varie suivant la nature de cet acide.

1. Cette table est empruntée à M. du Moncel (1872).

Le cuivre, ou même le laiton, qui se trouve placé dans l'échelle galvanique entre le cuivre et le fer, tout en facilitant la construction des paratonnerres, ne peuvent ni l'un ni l'autre donner lieu, avec le fer ou avec la platine, qu'à un faible effet galvanique qui ne saurait nuire à la durée de l'appareil.

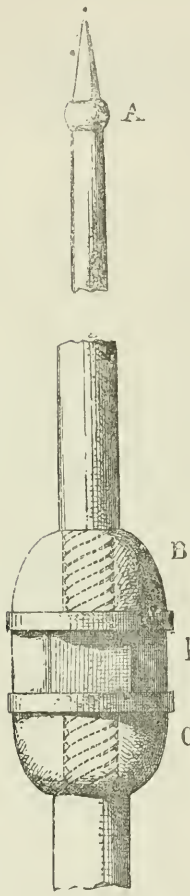


Fig. 10.

— Reprenons, après cette digression, la description des flèches de cuivre. Voici le dessin (*fig.* 10) de celles que j'emploie.

La baguette AB porte à son sommet une olive A, dans laquelle on visse la pointe en platine. La tige au-dessous, de A à B, va en augmentant de grosseur; elle a ordinairement une longueur de 30 à 50 centimètres, suivant la grandeur des flèches; au bas est un écrou à double vis *b*. La tige est en cuivre fondu ainsi que l'écrou, vissée à fond et arrêtée dans la partie supérieure de l'écrou, en B; la partie inférieure de l'écrou, C, est taraudée et préparée pour se visser à l'extrémité de la flèche en fer. On peut donc préparer tout le travail en gardant à part cette pièce que la fabrication de la flèche en fer gâterait sûrement, que le transport, le montage et les divers incidents du placement pourraient endommager, ainsi que sa pointe en platine. On la met en place au dernier moment; la partie *b* a été limée en hexagone afin qu'avec une clef on puisse la serrer autant qu'il convient pour assurer la solidité. Cette disposition m'a semblé commode pour le placement; de plus elle est élégante et facile à faire ainsi qu'à poser.

Les *instructions* de Gay-Lussac donnent peu de détails sur cet objet.

Pouillet donne ceux-ci : « ... Une baguette de laiton de 0.60 de longueur et 1 centimètre de diamètre.

« La baguette de laiton se réunit à la barre de fer par un goujon qui entre à vis dans toutes les deux. Ce goujon est ensuite fixé dans chacune par deux goupilles à angle droit (*fig.* 11). »

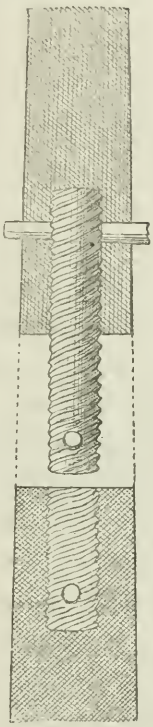


Fig. 11.

Cette baguette peut être formée d'un bout de cuivre étiré à la filière, et rendue tronc conique au tour et à la lime, mais non au marteau, surtout à chaud, quand elle est en laiton. En cuivre rouge, elle peut au contraire être amincie au marteau, ce métal se prêtant très-bien à ce genre de travail.

On trouve chez les quincailliers et chez certains marchands d'objets d'électricité, des tiges de cuivre toutes prêtes pour paratonnerres. Leur fabrication est souvent défectueuse; toutes ont à peu près la même apparence, cette jolie exécution des ateliers de Paris où le poli et le vernissage ne laissent rien à désirer. Elles ont la même disposition que celle dessinée ci-dessus (*fig.* 10), sauf que, au lieu de l'écrou à double vis qui m'est propre, elles portent une petite tige de fer préparée pour être soudée au feu à la tige de fer du paratonnerre. Cette tige est parfois vissée, parfois ajustée et chevillée d'après les instructions de Gay-Lussac. On démonte cet ajustement et on soude la tige additionnelle au paratonnerre.

Nous engageons à visiter avec soin ces pièces avant de les accepter, et de s'assurer si la pointe est bien en platine et si elle est bonne. On substitue parfois de l'argent au platine. Il faut surtout se défier du bon marché.

CHAPITRE V.

PARATONNERRES D'ÉGLISE.

Voici les instructions de Gay-Lussac sur cet objet (elles suivent sa description de la construction des paratonnerres) :

« Le paratonnerre dont on vient de donner les détails de construction, et que l'on a pris pour type, est applicable à toute espèce de bâtiments, aux tours, aux dômes, aux clochers et aux églises, avec de très-légères modifications.

« Sur une tour, la tige du paratonnerre doit s'élever de 5 à 8 mètres, suivant l'étendue de sa plate-forme ; 5 mètres suffiront pour les plus petites et 8 pour les plus grandes.

« Les dômes et les clochers, dominant ordinairement de beaucoup les objets circonvoisins, un paratonnerre placé à leur sommet en tire un très-grand avantage pour étendre son influence au loin, et n'a pas besoin, pour les protéger, de s'élever à la même hauteur que sur les édifices terminés par un toit très-étendu. D'un autre côté, l'impossibilité d'établir solidement des tiges de 7 à 8 mètres sur les dômes et les clochers, sans des dépenses considérables, doit faire renoncer à en employer dans ces dimensions. Nous conseillons donc, pour ces édifices, et surtout pour ceux dont le sommet est d'un accès difficile, de n'employer que des tiges minces, s'élevant de 1 à 2 mètres au-dessus des croix qui les terminent. Ces tiges étant alors très-légères, il sera facile de les fixer solidement à la tête des croix, sans que la forme de ces der-

nières paraisse altérée de loin et sans que le mouvement des girouettes qu'elles portent ordinairement en soit gêné.

« Nous pensons même que pour peu qu'on éprouve des difficultés à placer ces tiges sur un dôme ou sur un clocher, on peut les supprimer entièrement. Il suffira, pour défendre ces édifices des atteintes de la foudre, d'établir, comme pour le cas où ils sont armés de tiges, une communication très-intime entre le pied de chaque croix et le sol. Cette disposition, qui est très-peu dispendieuse et qui offre également une très-grande sûreté, sera surtout avantageuse pour les clochers des petites communes rurales. Quant aux églises, lorsqu'elles ne seront pas protégées par le paratonnerre de leur clocher, il sera nécessaire de les armer avec des tiges de 5 à 8 mètres de hauteur. »

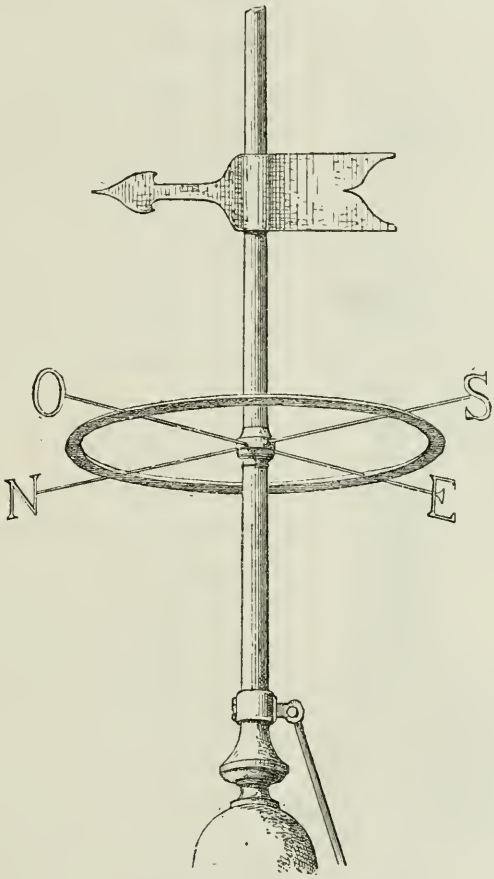


Fig. 12.

Voici (*fig.* 12) le dessin des paratonnerres de clochers, tel qu'il est donné par les *instructions* de Gay-Lussac. C'est le type surtout adopté à Paris et dans l'est de la France.

Nous ferons remarquer ici qu'il importe avant tout, dans la décoration des flèches de paratonnerres, de ne pas entraver

le parfait écoulement de l'électricité à travers les ornements quelconques, soit fixes, soit mobiles, appliqués sur ces flèches. C'est un principe que nous aurons occasion de rappeler maintes fois dans les pages suivantes.

Dans l'ouest de la France, et sans doute aussi un peu partout, les paratonnerres de clochers présentent une disposition particulière s'écartant quelque peu des instructions précédentes. La flèche est fixée sur le haut de la croix qui surmonte le clocher, et, entre la pointe du paratonnerre et la croix, se trouve un coq rappelant à la vigilance le chrétien qui se laisse aller à la tiédeur, et à la mémoire des fidèles la triple négation de saint Pierre. Nous n'avons rien à dire de ce coq, considéré comme emblème religieux; mais il sert en même temps de girouette et doit pouvoir tourner facilement au vent sans entraver la conductibilité électrique. C'est à ce point de vue que nous l'envisageons. La flèche ne se poursuit pas sous forme de tige, le long de la croix; celle-ci la remplace et en constitue de la sorte la partie inférieure. La croix porte une queue qui pénètre dans le clocher, où elle se trouve fixée par des écrous sur de solides croisillons en fer tenant à la maçonnerie (*fig.* 13).

Fig. 13.

Je recommande d'attacher le câble conducteur sur cette queue, en dedans du clocher, en B, par exemple, où le serrage à fond de l'écrou contre le croisillon assure l'adhérence. Cette attache peut également se faire sur le pied de la croix, en dehors du clocher, mais par le moyen d'une vis et d'un écrou, en un endroit ménagé tout exprès par le constructeur de la croix, et non pas, comme on ne le fait

que trop souvent, par une simple ligature du câble sur le pied de cette croix, — ligature qui ne peut présenter une sécurité suffisante de contact par suite de l'insuffisance de serrage permettant à la rouille de se développer entre le câble et la croix. On peut toujours facilement resserrer une vis ou un écrou, pour assurer la bonne jonction électrique dont on viendrait à douter, entre une flèche de paratonnerre et son câble, tandis qu'il est difficile ou tout au moins coûteux et dangereux d'aller refaire une ligature en un endroit pour ainsi dire inaccessible; ce qui fait qu'on néglige de se précautionner contre le mauvais fonctionnement du paratonnerre, qui devient alors un danger au lieu d'être une protection.

Fig. 14.

L'établissement du coq-girouette exige aussi des précautions attentives; car, ou le coq n'est pas assez mobile au vent, ou le contact électrique devient imparfait. Une très-bonne disposition consiste à placer le coq, très-mobile, dans un cercle surmonté de la pointe du paratonnerre (*fig.* 14). C'est ce que l'on appelle un coq nimbé, et ce qui est considéré comme d'un goût douteux. Ainsi est établi cependant le coq-girouette de la flèche centrale de la cathédrale d'Amiens. La conductibilité électrique est parfaite, et le coq, posé simplement sur la tige qui le pénètre, tourne seul au vent avec facilité.

Une disposition bien différente consiste à faire à la tige (*fig.* 15) qui sert de pivot au coq, une pointe aiguë ou arrondie, en acier, sur laquelle porte librement une plaque d'acier ou de verre, voire même une simple bille en verre fixée au fond d'une gaîne où pénètre cette tige faisant corps avec le coq et tournant avec lui. Le prolongement de cette

gaîne en forme de tige est pourvu d'une pointe aiguë, tantôt en cuivre, tantôt en platine, qui sert de paratonnerre. On remarquera qu'il n'y a pas de contact absolu entre la gaîne et la tige formant pivot, et qu'ainsi la conductibilité ne saurait exister sans étincelles. De plus, s'il se forme un oxyde entre les deux surfaces, il y aura isolement. Cette disposition doit être rejetée. On ne doit pas sacrifier le principal à l'accessoire ; or l'accessoire est la mobilité du coq ; le principal est la préservation de l'orage.

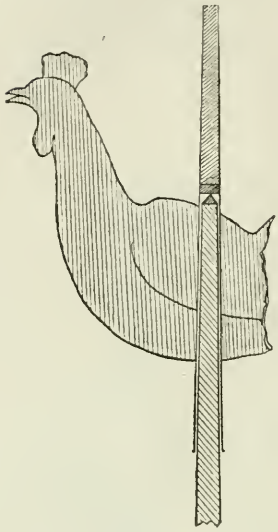


Fig. 15.

Un arrangement préférable au précédent consiste à faire traverser le coq par la flèche, dans une gaîne, et à le faire rouler sur trois petits galets lui servant d'appui et placés dans une rondelle fixée sur une embase de la flèche (*fig.* 16). La conductibilité électrique est ainsi parfaite, et le coq tourne librement autour de la tige, du moins aussi longtemps que les petits galets sont en bon état. Quelle que soit la disposition adoptée pour la mobilité du coq, la tige qui le traverse et qui fait partie de la flèche doit être en cuivre. J'en ai vu qui étaient en acier : au bout d'une année la rouille avait envahi les ajustements et le coq ne tournait plus. Le système appliqué était, il est vrai, celui ordinairement employé pour la construction des girouettes, le coq

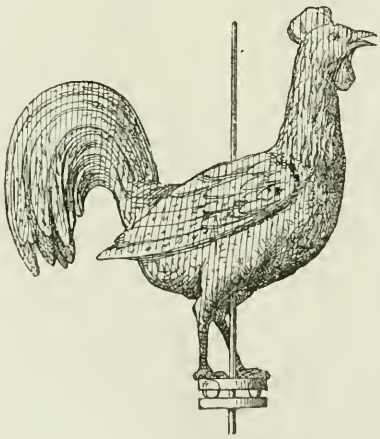


Fig. 16.

reposant sur une embase. Mais un coq en cuivre martelé et doré est plus lourd que ne l'est une girouette, et le frottement sans matière lubréfiante amène toujours, finalement, son immobilisation; une girouette légère, au contraire, peut toujours tourner, bien qu'accompagnant son mouvement, comme on sait, du grincement légendaire.

Pour que le coq soit bien mobile et d'une mobilité durable, voici ce que j'ai fait de mieux (*fig.* 17 et 18): il ne roule plus sur des galets, mais se trouve, au contraire, fixé sur une embase indépendante de la flèche, unie et façonnée au tour; au-dessous, servant de support, est une embase pareille mais adhérente à la flèche du paratonnerre, en forme de rondelle. Ces embases doivent être en cuivre. Entre elles, je place un cercle contenant trois sphères. Ce cercle est également en cuivre; de même les axes des boules, taraudés sur ce cercle et faisant saillie à l'intérieur, vers le centre. Entre ces axes, au centre, il existe un espace libre pour le passage de la flèche, laquelle traverse le coq dans une gaîne, comme précédemment. Les sphères sont des billes de verre que l'on perce en se servant, soit du foret, soit du burin, comme s'il s'agissait d'un métal, en humectant de plus le perçage avec de l'essence de térébenthine contenant de l'acide oxalique en dissolution. Ce dernier ingrédient n'est pas absolument nécessaire ; il aide à percer certains verres plus durs, mais le

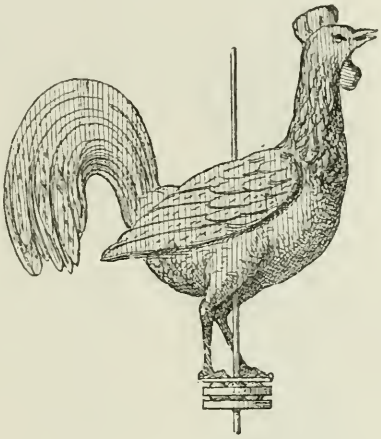


Fig. 17.

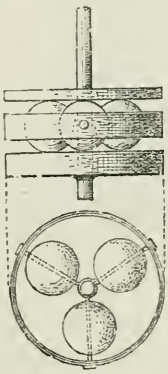


Fig. 18.

plus souvent l'essence de térébenthine suffit. Les billes étant ajustées dans un manchon de bois et placées sur le tour sont ainsi facilement percées.

Les billes sont d'un diamètre plus grand que le cercle n'a de hauteur; elles roulent sur l'embase fixe adhérente à la flèche, et le coq est posé simplement sur elles, où il tourne ainsi très-librement sous le moindre souffle du vent.

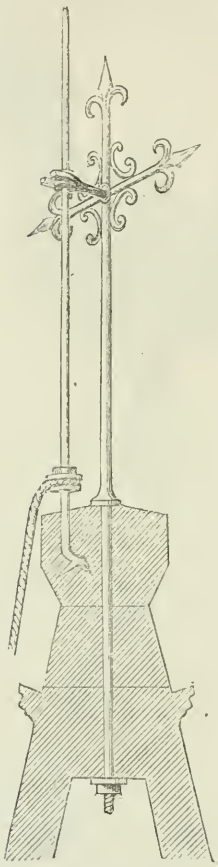


Fig. 19.

Au dessus du coq, sur la barre du paratonnerre qui le traverse, on visse la tige en cuivre qui porte la pointe de platine, comme on voit figure 13. Cette tige empêche le coq d'être enlevé par le vent; sa base doit déborder sur la douille, pour empêcher la pluie de pénétrer dans l'assemblage.

Cette disposition est peu coûteuse et ne craint ni la rouille ni les pluies.

Un autre mode de construction des paratonnerres d'église, qui ne manque pas d'intérêt ni d'une certaine raison d'être, est le suivant :

On place (*fig.* 19) une flèche en fer semblable à celle des paratonnerres d'édifices ordinaires, derrière la croix, en l'y fixant par un support à écrou pourvu d'un isoloir. Le paratonnerre et son coq semblent être en prolongement de la croix pour le spectateur qui regarde le clocher de face. On a adopté cette disposition afin que si un coup de foudre venait à éclater sur l'ensemble du paratonnerre, la croix et les croisillons lui servant d'attache dans l'intérieur du clocher fussent soustraits à son influence.

Nous ne partageons pas ces craintes, car, d'après nous, le

fluide suivra toujours son conducteur métallique, bien plutôt qu'il ne se répandra dans ces grandes pièces de fer, ordinairement scellées dans les murs, et par conséquent isolées à leurs extrémités. De plus, il nous semble que la croix, bien que voisine de la flèche, doit participer à la décomposition électrique qui atteint toutes les parties élevées en temps d'orage, et que si le danger que nous signalons était réel, la précaution prise serait inutile.

CHAPITRE VI.

PARATONNERRES POUR MOULINS A VENT.

Les moulins à vent, par suite de leur élévation, de leur isolement et du mouvement de leurs ailes, sont plus exposés aux orages que la plupart des autres bâtiments. Cependant, que ce soit par raison de pauvreté, d'économie mal entendue ou d'ignorance, ou parce qu'une difficulté particulière contrarie leur établissement, aucun moulin, que je sache, n'en est pourvu.

Les moulins à vent sont généralement construits en bois et renferment une grande quantité d'objets combustibles, parfois d'une grande valeur. Beaucoup sont atteints chaque année par la foudre, et les hommes comme les bâtiments, le mécanisme et les marchandises, sont frappés par elle.

Remarquons d'abord que tous les propriétaires de ces moulins ne sont pas tellement pauvres qu'ils ne puissent faire la dépense d'installation d'un appareil préservateur. Plusieurs d'entre eux sont même riches, très-riches; et certains moulins contiennent des mécanismes de grande importance auprès desquels la valeur d'un paratonnerre n'est rien. Si l'on n'en établit pas, ce n'est peut-être que parce que l'on croit généralement que c'est chose impossible. Le moulin, en effet, en tournant sur sa base, entraînerait forcément avec lui le câble, dont la partie inférieure ne pourrait plus, de la sorte, *prendre terre* en un point fixe.

On a proposé de placer le bout inférieur du câble sur l'attèle que l'on conduit à la main lorsqu'on fait tourner le moulin du côté convenable pour qu'il prenne le vent. Si cette pièce de bois, quand elle est arrêtée, pénétrait assez profondément en terre pour arriver jusqu'à l'humidité constante, la difficulté serait singulièrement réduite ; mais il n'en est pas ainsi, et cette solution, dès lors, ne peut nous suffire. Beaucoup de moulins, ceux surtout de quelque importance, sont munis d'un appareil d'orientation qui les porte automatiquement vers le côté d'où vient le vent. Le plus souvent, l'orientation se donne à la main par un mécanisme analogue. Dans les deux cas, la disposition proposée ne peut, encore moins que précédemment, convenir.

On a proposé, de plus, d'attacher au bout inférieur du câble un grappin ou piquet de fer qu'on fixerait en terre, en temps d'orage. Mais ce piquet ne saurait pénétrer assez profondément dans le sol, et l'on pourrait d'ailleurs l'oublier. On s'accoutume au danger, on en vient même à s'en moquer lorsqu'il ne se présente que rarement ; et c'est toujours quand on a négligé de se précautionner que le mal arrive. Du reste, le meunier peut se trouver absent au moment de l'orage.

Il est donc absolument nécessaire que la *mise à terre* soit établie à poste fixe. Mais comment faire, puisque le paratonnerre, avec son conducteur, suit naturellement les mouvements de la partie haute du moulin sur laquelle il se trouve ? Nous avons dit déjà que c'était là le point qui faisait considérer l'établissement des paratonnerres sur les moulins à vent comme chose impossible. Le problème est cependant bien simple. Examinons :

Ou le moulin est construit sur une tour en maçonnerie, et le toit seulement est mobile ; sur ce toit est fixé l'axe horizontal des vergues. Ou le moulin tout entier, construit légèrement en bois, doit pouvoir tourner sur sa base. Dans les deux cas, les parties mobiles portent sur un pivot fixe,

sorte de poinçon vertical qui, dans le second cas, supporte tout le poids du moulin. Quelquefois les parties mobiles portent sur des appuis horizontaux et tournent à l'aide de galets ou d'autres garnitures métalliques qui facilitent le mouvement ; ces garnitures sont parfois absentes, et le frottement des charpentes n'est adouci que par la lubrification plus ou moins complète des parties en contact. Finalement, pour ce qui nous regarde, il y a toujours des pièces qui supportent le transport, et ces pièces peuvent servir à la conductibilité électrique. Le plus souvent, il y a pivot vertical et support horizontal : deux ressources à la fois.

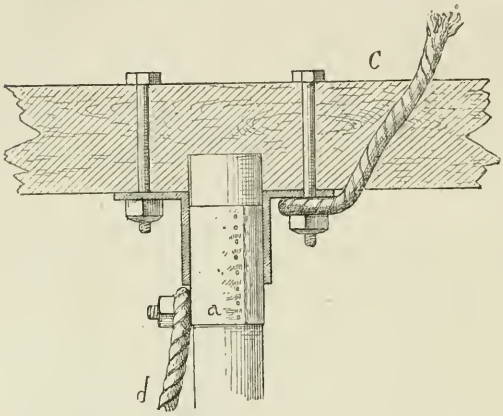


Fig. 20.

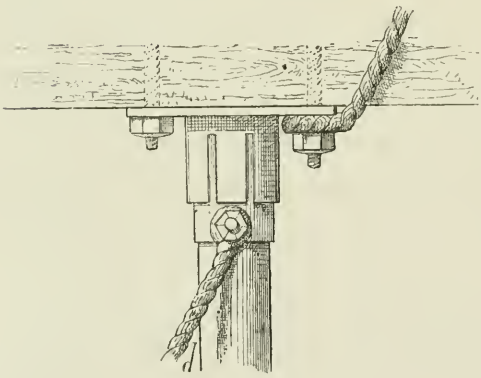


Fig. 21.

Si les supports sont métalliques, il peut suffire de les employer comme des conducteurs, et d'attacher l'extrémité de la partie de câble C (*fig.* 20), venant du toit mobile, à l'une des pièces métalliques tournant avec le moulin, puis le bout de l'autre partie de câble *d*, allant à la terre, à l'une des pièces métalliques fixes, par exemple sur l'arbre formant pivot ; cela, bien entendu, si ces pièces métalliques ne se quittent jamais pendant les mouvements d'orientation du moulin.

Si les pièces portantes sont en charpente de bois, il faut les garnir d'armatures en métal à leur point de contact, comme l'est le pivot central *a* de nos figures 20 et 21. On enveloppe ce pivot d'un manchon de cuivre mince, au-dessous de l'endroit tournant, puis on place, sous la traverse de charpente qu'il porte, une sorte de chapeau renversé (visible en coupe figure 20), dont le canon enveloppe l'armature de cuivre (*fig.* 21). Ce canon est fendu en diverses places pour qu'il fasse ressort et presse l'armature, afin d'assurer le contact.

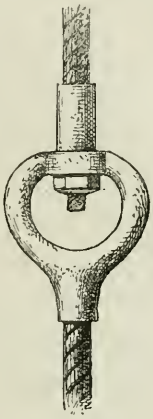


Fig. 22.

Quand il n'y a pas de pivot central, il existe parfois à sa place un engrenage central, dont les pièces, si elles sont en fer, peuvent servir à conduire l'électricité des paliers aux axes, et d'un axe à l'autre par l'engrenage. Si ces axes sont en bois, on peut employer le procédé représenté par les figures 20 et 21. S'il n'y a ni pivot ni engrenage central (le cas est rare), on peut encore se servir du même moyen, mais amplifié, et en se conformant aux conditions locales.

Fig. 23.

Une grande simplification serait d'empêcher le moulin de faire plusieurs tours sur lui-même, ce qui serait facile en établissant un arrêt fixe dans le sol, en un point où passe l'attèle qui sert à l'entraîner. On ne pourrait ainsi lui faire faire plus d'un tour entier ; et le câble, ayant alors assez de jeu pour suivre ce mouvement sans être tendu, pourrait se tordre et se détordre sans inconvénient. Nul doute qu'il se romprait si le moulin faisait au contraire plusieurs tours sur lui-même du même côté. Reste à savoir si ce déplacement journalier du câble ne nuirait pas à la longue à sa solidité. Pour éviter sa torsion, le câble pourrait être coupé et les bouts de cette cou-

pure réunis par un ajustement mobile, en manière de porte-mousqueton, par exemple (*fig.* 22 ou 23). Le câble, ainsi, fatiguerait beaucoup moins.

Ces explications sont suffisantes, pensons-nous, pour faire comprendre qu'il est possible, facile même d'installer de bons paratonnerres sur les moulins à vent. Nous ajouterons que pour les moulins pauvres on pourrait adopter, comme préservatif, des conduites en paille. La paille est, il est vrai, un conducteur imparfait, même très-imparfait; mais c'est un conducteur, et mieux vaut peu que rien. Nous en indiquerons plus loin l'utilité, mais nous devons conseiller tout de suite aux propriétaires de moulins qui voudraient se servir de conducteurs de ce genre, de les faire passer toujours en dehors du moulin; car si le passage rapide de la foudre peut brûler le fer, à plus forte raison peut-il consumer la paille et incendier de cette façon le moulin.

Nous devons encore ici faire observer que si, tant que les conducteurs fonctionnent, quoique lentement mais régulièrement, les paratonnerres sont efficaces sous l'orage, ils peuvent devenir dangereux, au contraire, lorsque l'orage éclate sur eux en coups de foudre, ce qui peut toujours arriver. C'est alors que l'excellente conductibilité du câble est indispensable pour écarter le danger. En pareil cas, le moulin à conduite de paille pourrait être visité par le feu. On trouvera au chapitre X l'indication des précautions à prendre pour éviter ce danger.

Toutes les instructions relatives aux paratonnerres en général, déjà examinées ou que nous examinerons dans la suite de cet ouvrage, doivent être appliquées aux paratonnerres de moulins à vent, en outre des indications particulières qui précèdent.

CHAPITRE VII.

POINTES MULTIPLES.

Cette question, du plus haut intérêt scientifique, a été soulevée par M. Perrot, de Rouen, inventeur de la machine à imprimer les tissus, nommée Perrotine.

Lorsque l'événement si grave d'un coup de foudre sur la caserne du Prince-Eugène, à Paris, arriva en 1862, laquelle caserne était cependant pourvue de paratonnerres, mais, hélas! bien mal disposés, le monde scientifique s'émut; et, parmi les communications à l'Académie, auxquelles cet événement donna lieu, celle de M. Perrot fut la plus intéressante par la nouveauté de ses aperçus et par sa haute raison. Voici un extrait de cette communication[1]... « M. Perrot fait en outre hommage à l'Académie d'un exemplaire de la lettre dans laquelle M. Gavarret, professeur de physique à la Faculté de médecine de Paris, apprécie les perfectionnements apportés par lui aux paratonnerres. Nous reproduisons cette lettre en raison de son importance, et parce qu'elle énumère complétement une série d'expériences du plus grand intérêt, qu'on peut ranger sous trois chefs principaux :

« A. — *Action neutralisante d'une tige métallique en communication avec le sol, et terminée par une pointe.* — La distance de la pointe

1. Académie des Sciences, séance du lundi 25 août 1862.

à la machine étant maintenue constante, la tension maximum que peuvent acquérir les conducteurs décroît très-rapidement à mesure que l'angle, au sommet du cône, devient plus petit. Les tiges métalliques exercent donc une action neutralisante d'autant plus considérable que leur pointe terminale est plus aiguë. »

Nous avons déjà démontré et répété cette vérité.

« B. — *Action neutralisante des pointes multiples.* — Une bouteille de Leyde, de 3 décimètres de diamètre et de 3 décimètres carrés de surface armée, étant chargée par un seul tour du plateau de la machine, une tige métallique terminée par une seule pointe, et en communication avec le sol, était placée à une distance telle que la bouteille se déchargeait sur la pointe par une étincelle foudroyante. La distance de la pointe à la bouteille restant la même, vous avez montré qu'il suffit d'armer l'extrémité de la tige d'une couronne de pointes pour que la décharge de la bouteille soit instantanée et silencieuse. La distance restant toujours la même, la décharge de la bouteille sur la tige armée de sa couronne de pointes s'est maintenue silencieuse, alors même que la bouteille a été chargée à saturation. Ces effets établissent, d'une manière incontestable, qu'il suffit de multiplier les pointes terminales d'une tige métallique pour augmenter considérablement son action neutralisante.

« C. — *Action latérale des tiges métalliques terminées par une seule pointe.* — Une tige métallique, terminée par une pointe et tenue en communication avec le sol, est disposée perpendiculairement à la surface d'un plateau métallique isolé et armé d'un flocon de coton cardé qui vient flotter sur les côtés et à une certaine distance de la tige métallique. Lorsque le plateau est électrisé, le flocon de coton est attiré par la tige, et ce flocon se décharge sur cette tige par un étincelle. Cette ex-

périence démontre que l'action neutralisante efficace d'une tige métallique verticale, terminée en pointe, ne s'exerce que dans la région située au-dessus d'un plan horizontal passant par cette pointe.

« Les choses restant disposées de la même façon, on arme la tige métallique d'une *pointe latérale* dirigée vers le flocon. Si alors on charge le plateau, un flux *silencieux* d'électricité s'écoule par la pointe latérale et par la pointe terminale, le plateau et le flocon de coton sont neutralisés *silencieusement*, et il n'y a plus *d'étincelle foudroyante*. Ces expériences, que je ne reproduis ici que bien incomplétement, me paraissent établir qu'il y aurait avantage à faire subir quelques modifications à la construction des paratonnerres.

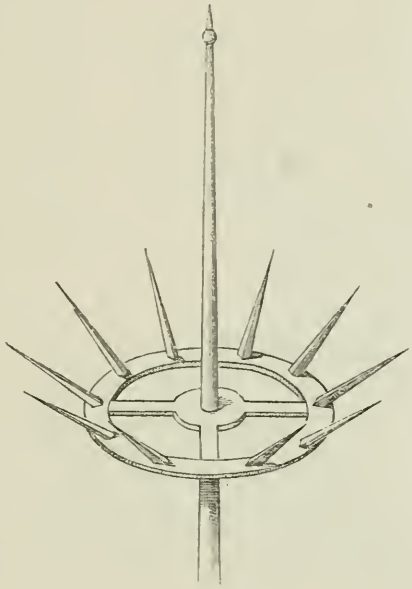


Fig. 24.

« 1° On rendrait *son action neutralisante beaucoup plus efficace* en armant son extrémité supérieure d'une couronne de pointes (*fig.* 24). 2° On le mettrait à l'abri des coups foudroyants lancés latéralement sur la tige par les lambeaux de nuages orageux rabattus par le vent, en armant cette tige, de la base au sommet, d'un certain nombre de pointes latérales convenablement disposées et espacées (*fig.* 25). Ces pointes multiples, tout en augmentant considérablement la quantité d'électricité fournie par le paratonnerre dans un temps donné, auraient l'avantage de diviser le flux. Chacune d'elles ne serait ainsi traversée que par un courant *trop faible pour la foudre, même par*

les orages les plus violents. Telles sont, monsieur Perrot, les réflexions qui me sont suggérées par les expériences si intéressantes et si démonstratives dont vous avez bien voulu me rendre témoin. Je fais des vœux pour qu'elles soient justement appréciées par qui de droit. »

« Nous avons vu, nous aussi, » dit M. l'abbé Moigno, « les expériences de M. Perrot, et nous les avons jugées parfaitement concluantes. Elles prouvent pour nous jusqu'à l'évidence que les modifications apportées au paratonnerre par cet habile mécanicien, lui donnent une efficacité qu'il n'a certainement pas quand on reste dans les conditions de l'instruction rédigée par la commission de l'Académie. »

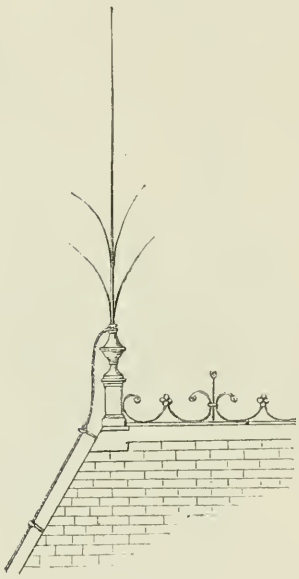


Fig. 25.

La lettre de M. Gavarret est précédée d'une note de M. Perrot, relative aux masses métalliques, et que nous reproduirons plus loin (ch. IX).

M. Perrot ne parle d'abord que d'une couronne de pointes (*fig.* 24). Cette couronne nous paraîtrait déplacée sur un monument à lignes sobres. C'est la première idée de M. Perrot, qui, depuis, a été modifiée à la fois comme conception et dans un but d'élégance de forme (*fig.* 25). Il ne paraît pas aussi bon à M. Perrot de placer la série de pointes inférieures dans un même plan vertical. Cependant, ces pointes, groupées sur la base d'une tige centrale, ne nous paraissent utiles que pour le cas de déchirures de nuages rabattus par le vent sur cette tige, au-dessous de la pointe supérieure, comme il peut arriver du reste en pays montagneux. Mais les crêtes des faîtages, les poinçons, les girouettes, les fleurons que l'on peut adjoindre

aux tiges des paratonnerres, tous ces ornements dardent des pointes actives fort dangereuses quand il n'existe pas de paratonnerre; qui sont utiles, au contraire, quand elles se trouvent reliées au paratonnerre existant (*fig.* 26). De récents et terribles accidents me semblent n'avoir pas d'autre cause; des châteaux d'une grande richesse ont été frappés par le feu du ciel, et des personnes y ont été atteintes. Il nous faut répéter que tous les ornements dentelés, effilés, dont le goût moderne couvre les combles, surtout sur les maisons isolées, les châteaux, ne sont qu'un appel audacieux fait à la foudre, si ces bâtiments ne sont pas pourvus de paratonnerres, et surtout s'ils se trouvent dans un site élevé.

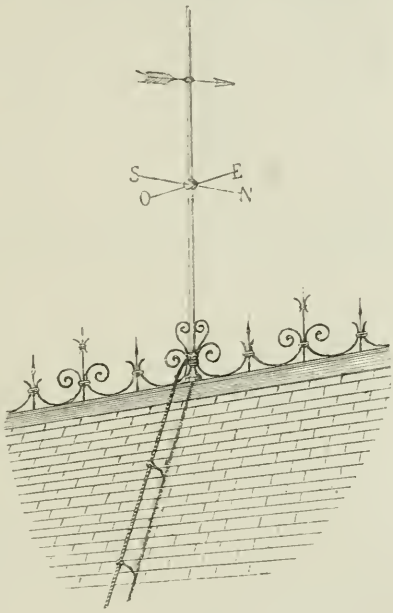


Fig. 26.

Les ornements naturels de certains monuments peuvent parfois les garantir de la foudre. Telle la colonne de Londres, commémorative de l'incendie de 1677, dont le sommet figure des flammes à pointes métalliques, lesquelles, mises en communication électrique constante avec le sol, par la rampe de l'escalier et d'autres ferrures pénétrant jusqu'aux fondations, forment avec cette rampe et ces ferrures un paratonnerre véritable. Depuis plus de deux siècles qu'elle existe, la colonne de Londres n'a jamais été frappée par la foudre. Tel aussi le temple de Salomon, à Jérusalem, dont les toits étaient surmontés de nombreuses pointes métalliques et les murs recouverts, des toits jusqu'à terre, de plaques et d'ornements également métalliques. Cela faisait

comme une multiplicité de paratonnerres. Aussi le temple de Salomon ne fut-il jamais foudroyé, circonstance qui ajoutait encore à la vénération des Israélites pour ce temple merveilleux.

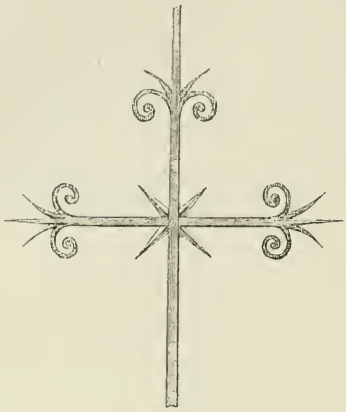


Fig. 27.

C'est au point de vue de la disposition des pointes multiples des paratonnerres, qu'il faut surtout prendre l'avis des architectes, car on peut toujours et l'on doit accorder l'utile avec le beau, la construction des paratonnerres avec la grâce des ornements qui s'y rattachent. La figure 24 ne s'accorderait pas avec les lignes droites d'un bâtiment de style grec, et celle 27 ne ferait guère bien au sommet d'un clocher d'église, ce qui n'est pas une raison cependant pour ne pas s'y servir de pointes multiples. La multiplicité des pointes de paratonnerres et des conducteurs ne saurait nuire, en aucun cas. Leur dépense est toujours compensée par la sécurité qui en résulte.

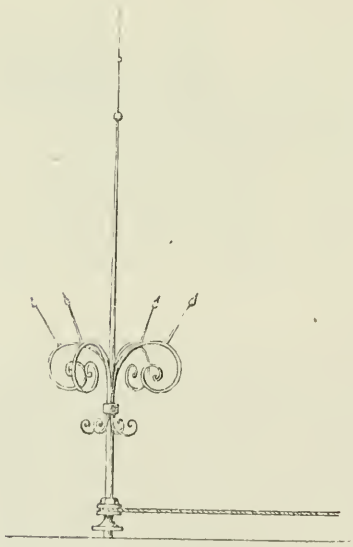


Fig. 28.

Voici (*fig.* 28) un modèle de pointes multiples dont le dessin m'a été fourni par un jeune architecte de Nantes, M. Marchand, et qui fait le meilleur effet sur le monument à lignes sobres où je l'ai placé. Composé de quatre volutes formant ensemble ce que l'on nomme un chou, il est en fer forgé, et les volutes sont serrées sur

la tige du paratonnerre par un solide collier. Chacune d'elles porte une tigette inclinée terminée par une pointe de platine.

Les pointes multiples sont indispensables dans les pays de montagnes, où, comme nous l'avons dit, les orages peuvent se présenter latéralement.

Les pointes très-multipliées peuvent être dépourvues d'armatures en platine, leur nombre alors les garantissant plus ou moins contre les dégradations possibles. Ce n'est là, toutefois, qu'une mesure d'économie que nous ne conseillerons pas. Encore faudrait-il, tout au moins, armer d'une pointe de platine la tige centrale.

CHAPITRE VIII.

BARRES OU TIGES EN FER.

La tige principale du paratonnerre est en fer rond ou carré, peu importe. Elle est scellée dans la maçonnerie, s'il se trouve à portée un mur convenable pour la solidité et pour l'isolement ; ou bien elle est fixée sur la charpente du comble qu'elle surmonte, soit sur le faîtage seulement, si l'on ne peut mieux faire, soit contre le poinçon d'une ferme, — ce qui est préférable à tous égards, à cause de la position verticale de cette pièce, permettant d'obtenir une sécurité plus grande qu'avec la précédente. J'ai planté une flèche dans un trou percé au cœur d'un gros poinçon, sur toute sa longueur. Un fort écrou serrait la flèche sur la base du poinçon. Il faut compter avec le vent, qui fait fléchir et vibrer toutes les flèches, surtout celles ornées de girouettes, de pointes multiples ou d'ornements divers. Ces vibrations ébranlent les attaches, leur donnent du jeu et pourraient même les rompre. On doit se servir de boulons traversant les pièces de charpente et serrés à l'aide d'écrous. Des tire-fonds sont bien plus ébranlables et ne peuvent plus être resserrés, lorsque les ébranlements ont détérioré et déchiré les fibres des bois où ils sont vissés.

Je ne puis décrire ni prévoir toutes les dispositions d'attache des flèches sur les combles, dispositions naturellement variables selon les circonstances. Il n'est pas un constructeur qui ne sache, mieux que je ne saurais l'indiquer, combiner ces

attaches avec solidité. Voici d'ailleurs les instructions de Gay-Lussac sur cet objet.

« Une tige de paratonnerre, de la dimension supposée, étant d'un transport difficile, on la coupe en deux parties, au tiers ou aux deux cinquièmes environ de sa longueur, à partir de sa base. La partie supérieure s'emboîte exactement, par un tenon pyramidal de 19 à 20 centimètres, dans la partie infé-

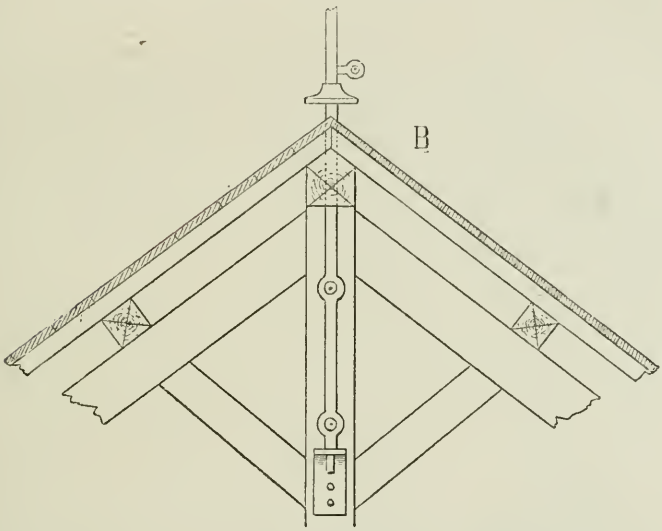


Fig. 29.

rieure, et une goupille l'empêche de s'en séparer. On doit cependant, autant qu'on le pourra, ne faire la tige que d'une seule pièce, parce qu'elle en aura plus de solidité.

« Au bas de la tige, à 8 centimètres du toit, est une embase soudée au corps même de la tige; elle est destinée à rejeter l'eau de pluie qui coulerait le long de la tige, et à l'empêcher de s'infiltrer dans l'intérieur du bâtiment et de pourrir les bois de la toiture.

« Immédiatement au-dessus de l'embase, la tige est arrondie sur une étendue d'environ 5 centimètres, pour recevoir un collier brisé à charnière, portant deux oreilles, entre les-

quelles on serre l'extrémité du conducteur du paratonnerre, au moyen d'un boulon. Au lieu du collier, on peut faire un étrier carré qui embrasse étroitement la tige. Enfin on peut encore, pour diminuer le travail, souder un tenon à la place du collier ; mais il faut avoir soin de ne pas affaiblir la tige en cet endroit, qui est celui où elle doit opposer le plus de résistance, et le collier ou l'étrier sont préférables.

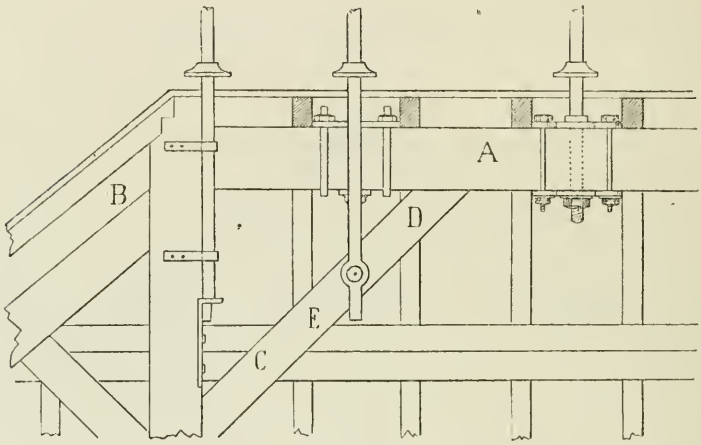


Fig. 30.

« La tige du paratonnerre se fixe sur le toit des bâtiments, selon les localités. Si elle doit être posée au-dessus d'une ferme B (*fig.* 29 et 30), on perce le faîtage d'un trou dans lequel on fait passer le pied de la tige, et on l'assujettit contre le poinçon, au moyen de plusieurs brides, comme on le voit dans les figures. Cette disposition est très-solide, et doit être préférée lorsque les localités le permettent.

« Lorsqu'on doit fixer la tige sur le faîtage en A (*fig.* 30), on le perce d'un trou carré de mêmes dimensions que le pied de la tige, et par-dessus et en-dessous on fixe, avec quatre boulons ou deux étriers boulonnés qui embrassent et serrent le faîtage, deux plaques de fer de 2 centimètres d'épaisseur, portant chacune un trou correspondant à celui fait dans le

bois. La tige s'appuie par un petit collet sur la plaque supérieure, contre laquelle on la presse fortement au moyen d'un écrou se vissant sur l'extrémité de la tige contre la plaque inférieure ; la figure 31 montre le plan de l'une de ces plaques. Si l'on pouvait s'appuyer sur le lien C D (*fig.* 30), on souderait à la tige deux oreilles qui embrasseraient les faces supérieures et latérales du faîtage, et descendraient jusqu'au lien, sur lequel on les fixerait au moyen d'un boulon E.

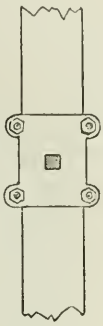


Fig. 31.

« Enfin, si le paratonnerre devait être placé sur une voûte, on le terminerait par trois ou quatre empattements ou par des contre-forts qu'on scellerait dans la pierre, comme d'ordinaire, avec du plomb. »

Sur les faîtages, fermes et charpentes quelconques en fer, l'attache de la flèche est facile à combiner, l'assise est solide, les vis et les boulons sont d'un emploi très-simple. Mais ici se pose une question du plus vif intérêt, très-diversement appréciée par les savants, et qui sera traitée dans le chapitre suivant : Doit-on ou ne doit-on pas isoler les paratonnerres des *masses métalliques*, qui sont aujourd'hui si généralement employées pour l'édification de nos habitations et de nos monuments ? Quant à moi, je recommanderai d'isoler des charpentes en fer les attaches des flèches, leurs boulons, leurs écrous, par l'interposition de bois ou de pièces de verre ou de porcelaine.

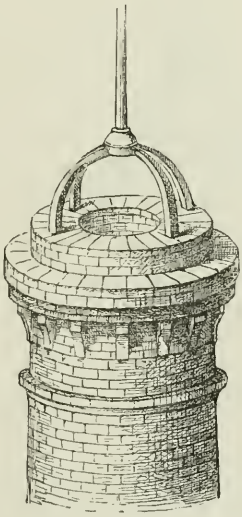


Fig. 32.

Sur le haut d'une cheminée d'usine (*fig.* 32), la flèche est fixée sur un support en fer à trois ou quatre branches scellées dans la maçonnerie.

Les moyens indiqués par Gay-Lussac et les autres auteurs,

pour l'ajustement des câbles sur leurs flèches, ne me semblent pas suffisants. Je critique aussi les flèches composées de plusieurs longueurs pour en faciliter la pose, parce qu'elles ne forment jamais qu'un tout fragile, et que la rouille en peut ronger tous les ajustements. J'ai démonté des paratonnerres où l'assemblage du câble sur la flèche était fait à l'aide d'une bague bien ajustée, et où cependant la rouille s'était développée, au point de supprimer toute jonction électrique en cet endroit.

Des observations de cette nature avaient sans doute frappé M. Pouillet, car il recommande de faire un manchon de soudure à l'étain sur tous les ajustements et attaches. Nous le recommandons à notre tour, partout où se trouve un assemblage en fer; mais il vaut infiniment mieux que les tiges soient d'une seule pièce. On peut les transporter ainsi, de nos jours, sur toutes les routes, sur toutes les voies; d'ailleurs, il n'est pas de bourg ou de village où ne se trouve un forgeron capable de réunir les parties de ces tiges par de bonnes soudures de forge.

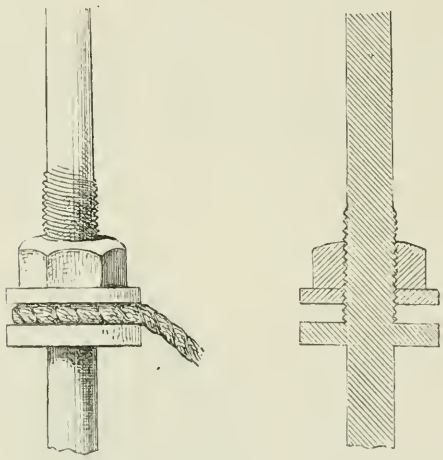


Fig. 33.

Pour la réunion du câble avec la flèche, j'ai adopté un système que je considère comme absolument supérieur à tout ce que l'on a fait jusqu'ici (*fig.* 33). On fait venir de forge, au bas de la tige de fer, une embase d'un diamètre double, au moins, de celui du bas de la tige. Cette embase est taraudée, et un écrou s'y visse; on place une rondelle de fer entre l'écrou et le câble. Un œil en épissure (*fig.* 34), ou tout au moins en liga-

ture (*fig.* 35), est façonné au bout du câble, puis passé dans la flèche par le haut, arrêté et serré par l'écrou entre la rondelle et l'embase. On conçoit quelle sûreté d'adhérence entre les métaux procure cet assemblage. Si l'on vient à craindre que le contact ait perdu de sa valeur, un tour d'écrou l'a bientôt rétabli. Comme solidité d'attache, rien n'égale ce système.

Fig. 34.

Fig. 35.

Nous avons vu que les instructions admettent, pour la facilité du montage, des tiges de paratonnerres faites de plusieurs pièces assemblées entre elles par de simples ajustements chevillés. La pièce inférieure, servant à l'attache de la flèche sur la charpente, est ordinairement carrée et séparée de la flèche proprement dite par une embase servant à rejeter l'eau des pluies sur les toits. La flèche est le plus souvent ronde, parce que le collier d'attache du câble ayant cette forme, il faut, pour l'assemblage, des surfaces de contact tournées et polies ; le collier doit même être rodé sur la flèche. Cette dernière est rarement carrée; mais quand cela est, le collier est de même forme et composé, selon les instructions, d'un étrier embrassant trois côtés, et d'une plaque de serrage avec deux boulons. Ce moyen d'attache du câble est de beaucoup inférieur au précédent.

Le poids et la longueur d'une flèche entière s'opposeraient à sa mise sur le tour. Quand on la veut tournée, on la fait donc de plusieurs pièces. On prépare d'abord la partie basse, comprenant l'embase de rejet des eaux, avec une certaine longueur de tige au-dessus et au-dessous, et l'armature de pose sur le comble, ou du moins une amorce pour y souder plus tard

cette armature, si celle-ci est trop lourde ou gênante pour le travail au tour.

Pour appliquer mon procédé représenté par la figure 33, il faut commencer par souder à la forge, sur la pièce inférieure de la flèche, l'embase de fer adhérente. Ensuite, on façonne au marteau, à chaud, puis au tour, le commencement de la flèche, en l'amincissant graduellement, de manière à ce qu'elle se raccorde très-exactement avec la partie suivante de la flèche, en prenant avec elle la forme régulière d'un cône ; on taraude la partie correspondant à l'écrou ; elle est renflée pour ne pas affaiblir la tige en cet endroit et pour laisser au centre de l'écrou et de la rondelle d'appui un vide suffisant pour le passage de la flèche et des saillies qui peuvent exister sur cette flèche, telles que nœuds de soudure, renflements d'ornements, etc. La face de l'embase sur laquelle reposera l'œil du câble, doit être polie au tour ou à la lime ; il vaudrait mieux qu'elle fût creusée pour y loger cet œil. Cela fait, puis la rondelle et l'écrou étant prêts, on achève cette partie inférieure de la flèche en y soudant à la forge, si ce n'est déjà fait, l'armature d'attache sur le comble. Quand les bouts de tige qui complètent la longueur de la flèche sont également terminés, il reste à les souder l'un à l'autre à la forge. Enfin, on fait à l'extrémité supérieure de la tige l'ajustement qui doit recevoir la flèche en cuivre : une soudure, s'il s'agit de la méthode ordinaire ; un taraudage si l'on accepte la méthode qui m'est particulière et que j'ai indiquée précédemment.

Le fer et le platine sont les deux seuls métaux qui se soudent d'agrégation. Souder le fer n'est pas absolument une chose facile ; chaque ouvrier a sa manière de procéder, chacun fait ses amorces et les réunit suivant son système ; mais, de quelque moyen qu'il s'y prenne, tout vrai forgeron doit parvenir à former une soudure parfaitement homogène et réellement invisible.

J'ai désiré souvent avoir des flèches galvanisées, mais

aucun établissement, que je sache, ne possède de bassins où se puissent plonger des flèches de 8 mètres. Le galvanisage des diverses parties de ces pièces, séparément, ne se peut employer, car elles ne se souderaient plus d'agrégation ensemble, après cette opération. J'ai donc dû me contenter de faire couvrir les flèches de peinture galvanique à la poudre de zinc, qui, sans avoir les qualités du zincage adhérent, est cependant, par la présence du zinc, d'un réel avantage pour la conservation du fer. A défaut de poudre de zinc, qui ne se trouve pas partout, on peut faire usage de poudre d'étain ou des peintures métalliques quelconques que tous les peintres en bâtiments possèdent.

CHAPITRE IX.

ISOLEMENT DES PARATONNERRES D'AVEC LES PARTIES MÉTALLIQUES DES BATIMENTS.

Avant d'aborder la construction des câbles, il est nécessaire d'examiner à fond cette question si controversée et du plus haut intérêt, dont nous avons déjà dit un mot.

Les parties métalliques d'un bâtiment doivent-elles être *isolées* des flèches, du câble ou des câbles et de toutes autres dépendances du paratonnerre, conductrices de l'électricité? ou doit-on, au contraire, les faire participer, par des conducteurs spéciaux, aux courants établis entre les nuées orageuses et la terre?

Des hommes de grand savoir et de grande autorité ont dit oui, — qu'il fallait rattacher ces parties métalliques aux paratonnerres; mais d'autres savants non moins illustres ont répondu : non. Quant à moi, sans sortir de ma très-humble et très-obscure sphère, après avoir pris connaissance de toutes les raisons pour et contre, je dirai avec ces derniers : non, absolument non. La question est grave, car, encore une fois, il s'agit de la vie humaine, je le répéterai sans cesse. Non, il ne faut pas mettre en communication électrique avec les paratonnerres, c'est-à-dire avec le feu du ciel, *toutes* les parties métalliques quelconques : planchers, balcons, combles ou toitures d'un bâtiment d'habitation, et moins encore d'un château, d'une salle de conférences, d'une caserne, d'un théâtre, etc., où se peuvent

trouver réunies de nombreuses personnes au moment du danger. C'est au moins d'une grande imprudence et d'une extrême légèreté que de conseiller le contraire, sans raisons suffisantes, et de risquer ainsi de transformer l'appareil qui doit protéger en un appareil destructeur, comme il peut arriver.

Voici les instructions de Gay-Lussac, relatives à l'objet qui nous occupe :

« Si le bâtiment que l'on arme d'un paratonnerre renferme des pièces métalliques un peu considérables, comme des lames de plomb qui recouvrent le faîtage et les arêtes du toit, des gouttières de métal, de longues barres de fer pour assurer la solidité de quelque partie du bâtiment, il sera nécessaire de les faire toutes communiquer avec le conducteur du paratonnerre ; mais il suffira d'employer pour cet objet des barres de huit millimètres de côté ou du fil de fer d'un égal diamètre. Si cette réunion n'avait pas lieu et que le conducteur renfermât quelque solution de continuité, ou qu'il ne communiquât pas très-librement avec le sol, il serait possible que la foudre se portât avec fracas du paratonnerre sur quelqu'une des parties métalliques. »

Voici maintenant ce que dit Pouillet :

« Le paratonnerre est une arme qui devient plus efficace à mesure que le danger devient plus pressant. Son efficacité n'est pas cependant sans condition : par exemple, si le paratonnerre était dominé par des corps voisins plus élevés que lui, le nuage orageux exercerait sur ces corps une action plus grande que sur le paratonnerre, et l'explosion pourrait s'ensuivre ; si la tige du paratonnerre était environnée de corps très-bons conducteurs, de charpentes en fer, ou de couvertures métalliques d'une grande étendue, ces corps conducteurs, quoique placés plus bas que la tige, éprouveraient néanmoins une grande décomposition dans leurs électricités naturelles, et par cela même ils pourraient être frappés de la foudre.

« Le seul remède qui se présente pour les protéger, con-

siste à les mettre en bonne communication avec la conduite du paratonnerre, car, au moyen de cette communication, les deux fluides contraires pourront s'écouler à mesure qu'ils seront décomposés : celui qui est repoussé s'écoulera dans le sol par la conduite elle-même ; celui qui est attiré gagnera le sommet de la tige et pourra s'écouler librement vers le nuage par l'extrémité de la pointe.

« Cette théorie si simple condamne comme dangereuse l'invention de quelques praticiens, qui se sont imaginé que, sur les édifices à charpente métallique, il fallait soigneusement isoler de cette charpente et la tige et toute la conduite du paratonnerre. Heureusement, les moyens qu'ils emploient pour obtenir cet isolement sont trop imparfaits pour atteindre leur but ; et, s'ils n'arrivent pas à faire une chose dangereuse, ils font au moins une chose inutile. La théorie veut que l'on fasse précisément le contraire, c'est-à-dire que l'on mette en communication avec le paratonnerre tous les bons conducteurs d'une grande étendue qu'il doit protéger. Avec ces précautions, l'expérience a démontré qu'une tige de 9 à 10 mètres protége tout ce qui est autour d'elle dans un cercle de 20 mètres de rayon ; ainsi, le cercle protégé a un rayon à peu près double de la longueur de la tige. »

Dans un autre passage du traité de Physique du même auteur, se trouvent des observations qui semblent contredire le passage précédent ; les voici :

« Supposons que l'extrémité de la pointe soit émoussée, que le conducteur communique mal au sol, ou qu'il y ait quelque solution de continuité dans la conduite ; alors, il est évident, non-seulement que l'accumulation de l'électricité est possible sur le paratonnerre, mais qu'elle est inévitable ; c'est un conducteur qui se charge et qui peut recevoir une énorme quantité d'électricité ; si on en approche, on en peut tirer des étincelles, tantôt faibles, tantôt fortes, quelquefois foudroyantes.

« Il y aura danger, mais le danger sera différent selon les cas.

« Si c'est la pointe seulement qui est émoussée, et que le tonnerre tombe, il frappera la tige, en pourra fondre l'extrémité, mais en général il suivra le conducteur et ne fera aucun ravage dans l'édifice.

« Si c'est la conduite qui offre des solutions de continuité ou qui communique mal avec le sol, le tonnerre pourra encore tomber et fondre une longueur plus ou moins grande de la tige; mais il est presque certain qu'il se portera aussi latéralement sur tous les corps conducteurs voisins, et qu'il pourra exercer sa destruction comme si le paratonnerre n'existait pas.

« Mais il y a plus : un paratonnerre qui présente ces défauts est extrêmement dangereux, même quand le tonnerre ne tombe pas; car, du moment que l'accumulation de l'électricité sur la conduite est devenue assez grande, le fluide tend à se porter latéralement sur tous les corps conducteurs voisins, et l'étincelle qui en résulte peut les foudroyer ou les enflammer. »

Comment donc Pouillet, tout en établissant que le moindre défaut de conductibilité d'un paratonnerre peut le rendre foudroyant, a-t-il pu prescrire d'y rattacher les masses métalliques d'un bâtiment, sans distinguer entre elles? Ce ne peut être que par oubli, car de l'ensemble des indications de Pouillet on peut assurément conclure :

1° Que les parties métalliques situées loin des habitants, telles que les toitures avec leurs ornements divers et quelquefois aussi leurs chéneaux ou gouttières, etc., peuvent, par cette raison, et doivent même être mises en communication électrique avec le paratonnerre;

2° Mais que les solives d'un plancher; l'ossature d'un théâtre, supportant les siéges des spectateurs, etc.; les rampes d escaliers, les balcons d'appui, les colonnes d'un marché

couvert, le dallage d'un atelier, etc.; que toutes ces pièces métalliques, situées à proximité des personnes, doivent absolument être isolées du paratonnerre.

Toute mon argumentation suivante a pour but de démontrer cette vérité.

Du temps de Gay-Lussac, les charpentes en fer étaient encore peu usitées et ne servaient guère qu'à former des combles, — comme, par exemple, au château de Pierrefonds restauré par M. Viollet-le-Duc, — bien au-dessus des étages habités, et par conséquent loin des personnes. Gay-Lussac a donc pu, comme après lui M. Viollet-le-Duc, en conseillant de relier aux paratonnerres les masses métalliques, ne songer qu'aux combles et les considérer comme un lien naturel entre plusieurs paratonnerres, sans autre idée théorique bien assise. Mais aujourd'hui le fer entre partout dans nos habitations, et nous devons réfléchir avant d'accepter de tous points des conseils fort savants, mais déjà certainement vieillis et discordants avec les conditions actuelles.

Voici des instructions officielles plus explicites et plus dangereuses encore que les précédentes, au point de vue qui nous occupe, car il s'agit d'un rapport présenté par une commission spéciale de l'Académie des sciences, sous le dernier empire, à la demande du ministre de l'instruction publique et des cultes, et relatif au mode de construction qu'il convenait d'adopter pour l'établissement des paratonnerres du nouveau Louvre, sur la galerie du bord de l'eau et le pavillon de Flore, qui sont des bâtiments où le fer entre en masse dans les divers étages :

« 1° Les pièces principales des planchers de tous les étages (ces planchers étant en fer) seront mises en communication avec les conducteurs voisins ;

« 2° Il est très-désirable que toutes les solives des planchers supérieurs soient mises en communication métallique entre elles, au moyen d'une tringle boulonnée et s'il se peut

soudée à l'étain, laquelle sera elle-même rattachée aux conducteurs ;

« 3° Il nous paraît probable, d'après les modes d'ajustement en usage, que, en général, les fermes des combles sont en bonne communication les unes avec les autres, au moyen des pannes qui les assemblent et surtout de la panne faîtière ; qu'en conséquence il suffira que les tiges de tous les paratonnerres communiquent avec celle-ci. Cependant, s'il arrivait, soit par les changements de niveau des faîtages, soit par d'autres raisons, que les communications dont il s'agit laissassent quelques doutes, il faudrait y suppléer par des tiges en fer spéciales ;

« 4° Les chéneaux et les faîtages en zinc seront métalliquement réunis ou aux tiges ou aux conducteurs des paratonnerres. »

Le danger imminent, le seul peut-être des manifestations orageuses de l'atmosphère, ce sont les chocs électriques. La présence seule de l'électricité ne saurait faire aucun mal. On a lu bien des récits, et nous en rapportons un dans cet ouvrage, de personnes errant dans les montagnes ou de passage sur un navire pendant l'orage, et qui, participant de la nature électrisée du sol et des objets qui les environnaient, voyaient le feu du ciel jaillir de leurs cheveux et de leurs doigts sans en ressentir aucun trouble. Pictet, accompagné de de Saussure et de Jalabert fils, en 1767, à mesure qu'il dessinait une nouvelle position, en demandait le nom à son guide en la désignant du doigt. Il s'aperçut bientôt, que chaque fois qu'il faisait ce geste, il sentait au bout de son doigt une espèce de frémissement pareil à celui qu'on éprouve lorsqu'on s'approche d'un globe de verre fortement électrisé. Les expériences de la machine électrique fournissent des exemples du même genre. Quand on sert de réceptacle à l'électricité, et que, étant isolé, on prend en mains les conducteurs, tandis que la machine se charge, cette opération vous laisse sans secousses, sans souf-

france. Mais il en est autrement si, servant de passage à l'électricité, vous participez aux chocs, aux secousses qu'elle produit, lorsque les courants étant lancés ou retenus vous absorbez leurs ondes, qui circulent en vous tout à coup avec violence. Nous avons dit que des personnes recélaient le feu du ciel, lequel se laissait voir par des phosphorescences *paisibles*. En eût-il été de même si le ciel, ébranlé violemment, eût laissé tomber sur ces personnes le feu complémentaire qu'il contenait?

Qui oserait prendre en main un câble de paratonnerre pendant un orage? On pourrait le faire sans danger, comme le dit Pouillet, le paratonnerre étant en complet et parfait état, et le fluide s'écoulant de la terre à la nue ou réciproquement, par son intermédiaire, comme un fleuve puissant au cours uniforme et régulier. Mais peut-on être sûr que le paratonnerre est en parfait état et ne dégagera pas d'étincelles qui soient des chocs?

La pointe est-elle émoussée?

Les soudures sont-elles douteuses?

L'attache du câble à la flèche est-elle incomplète, et n'y a-t-il, dès lors, qu'une conduite imparfaite?

Puis encore : le câble est-il fait en matière bonne conductrice de l'électricité, tel qu'il ne se puisse rompre ni fondre sous un puissant coup de foudre?

Le câble n'est-il aucunement oxydé, ni prêt à se rompre; ou n'est-il pas déjà rompu?

La mise à terre est-elle bien adhérente au câble? Est-elle suffisante pour écouler, sans vibrations violentes, toute l'électricité que la pointe du paratonnerre enlève aux nues?

Et ne sait-on pas, comme M. Perrot l'a dit après moi, que la surface de la mise à terre, en contact avec l'eau, devrait être de 7 milliards de fois plus grande que ne l'est la section du câble?

Si toutes ces conditions n'étaient pas remplies, grande serait

l'imprudence de toucher à un conducteur de paratonnerre pendant l'orage : on en pourrait être puni sévèrement par une agitation douloureuse, sinon mortelle. Rischmann, on s'en souvient, fut foudroyé en faisant des expériences, en temps orageux, avec un paratonnerre dont il avait scindé le câble. Or, une conduite imparfaite est presque une conduite interrompue.

A supposer qu'un paratonnerre soit parfaitement établi, et que, neuf, il ne donne aujourd'hui rien à craindre, peut-on savoir ce qu'il sera plus tard, dans dix ans, dans vingt ans, et si, à cette époque lointaine, il ne sèmera pas la mort dans une réunion, nombreuse peut-être, de personnes confiantes dans son efficacité protectrice ? Et vous alors, qui aurez en quelque sorte préparé le mal, en préconisant une disposition vicieuse, votre conscience n'aura-t-elle rien à vous reprocher ?

Un paratonnerre est un instrument passif, et rien n'avertit s'il fonctionne ou non ; ce n'est pas comme une machine, une horloge, qu'on peut faire réparer quand elles refusent le service. Si donc rien ne peut avertir du bon ou du mauvais état d'un paratonnerre, il est prudent de s'en tenir écarté ; mais comment s'en écarter si l'habitation tout entière participe de son action, et si l'on ne sait pas, d'ailleurs, à quel danger imprévu et terrible on se trouve exposé ? Est-il consciencieux, enfin, de la part d'un architecte ou d'un constructeur de paratonnerres, d'exposer systématiquement les gens au danger malgré eux, alors qu'ils se croient au contraire en sûreté ? Il ne peut y avoir qu'une réponse à pareille question.

Pour se rendre compte de l'effet que pourrait avoir un coup de foudre, dans les cas où les pièces métalliques seraient ou non reliées au paratonnerre, supposons une personne appuyée sur un balcon (*fig.* 36) isolé d'un paratonnerre. Si ce balcon est touché par la foudre en A, et que le fluide, ayant parcouru la barre d'appui, s'échappe en C, la personne touchant ce balcon en B pourra en être fortement incommodée.

Si le balcon est touché en A (*fig.* 36) et que le fluide s'écoule en C', du même côté, la personne ressentira certes bien moins le choc électrique que dans le premier cas, car, la barre étant isolée par ses scellements, le fluide n'y circule pas.

Nous supposons, maintenant, le balcon (*fig.* 37) foudroyé et

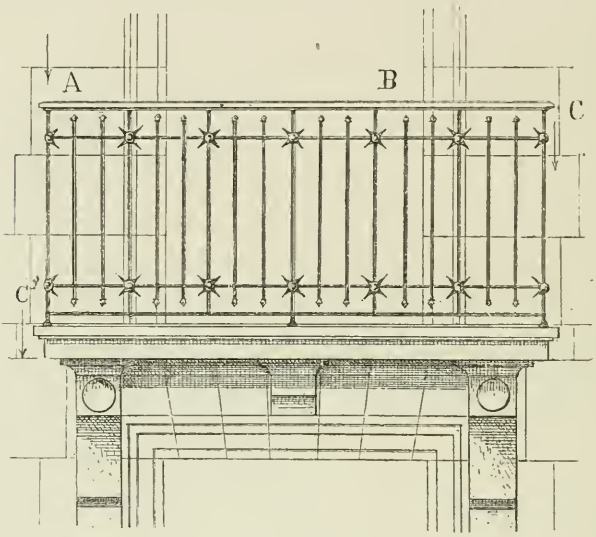


Fig. 36.

relié à la mise à terre par le bas, en C. Il est touché en A, et le fluide ne cherche pas d'autre issue, puisque celle préparée lui ouvre le chemin le plus court et le plus facile. Bien plus qu'à la fig. 36, où l'écoulement de l'électricité est difficile, son passage dans la barre sera brûlant et fatal. Qu'on supprime, par la pensée, le câble C, et l'on revient au deuxième cas de la fig. 36, où la personne court moins de risques que dans le premier cas de la fig. 36 et dans celui de la fig. 37.

Mieux vaut donc qu'un balcon soit isolé. Cette explication répond aux personnes qui voudraient que toute pièce métallique, grande ou petite, employée dans une construction, fût reliée au paratonnerre.

Mais si, me dira-t-on peut-être, la foudre frappe une de

ces pièces? — D'abord, répondrai-je, toute construction armée d'un paratonnerre doit être préservée, dans son ensemble et dans ses détails, du choc particulier de la foudre; et si l'on n'a pas confiance en cet appareil de préservation, pour tout cela, qu'on n'en fasse pas établir. Que si l'on a toute confiance

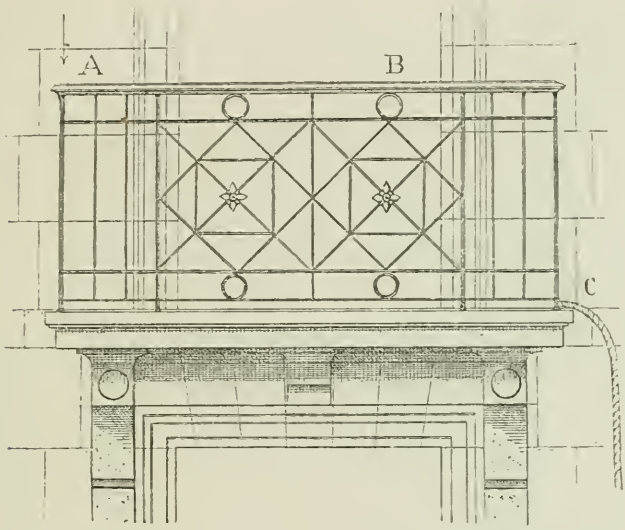


Fig. 37.

en lui, au contraire, qu'au moins on lui laisse sa vertu et ne s'en serve pas pour créer des dangers.

Si une personne est placée de telle sorte qu'elle offre à l'électricité une conduite plus prompte que le paratonnerre, le danger, pour elle, est terrible; car si la mise à terre n'offre pas un écoulement suffisant au fluide parcourant les conducteurs, et que ce fluide déborde en attaquant la personne, elle ressentira dans ses membres une contraction douloureuse ou même mortelle. Mieux vaudrait donc qu'elle fût isolée, ainsi que tout ce qui l'approche et les points sur lesquels elle repose.

Les sinistres causés par la foudre sont bien moins nombreux dans les villes que dans les campagnes. Les personnes, en ville, sont garanties dans leurs maisons par les murs et les

charpentes en bois, et par les vitres de leurs fenêtres, que nous conseillerons de tenir fermées en temps d'orage. Il faut aussi se garder des courants d'air.

Les personnes foudroyées sont, le plus souvent, celles qui se trouvent sur le sol, et debout, parce que la position verti-

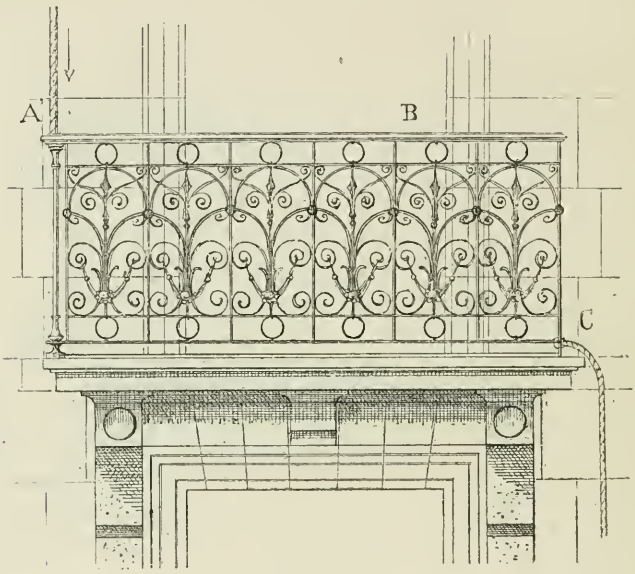


Fig. 38.

cale de l'homme le présente dans le sens normal du passage de l'électricité entre le ciel et la terre. Rarement elles le sont aux étages des maisons, parce qu'au-dessus et au dessous d'elles se trouvent des substances isolantes, comme la pierre et le bois. Si, au lieu de substances isolantes, les planchers étaient formés de matières conductrices de l'électricité, reliées à la terre, les personnes placées sur ces planchers seraient, en quelque sorte, désignées à la foudre par ces matières.

Nous avons supposé, dans nos exemples précédents, que les pieds de la personne placée sur un balcon frappé de la foudre, reposaient sur une pierre plus ou moins humide et par conséquent plus ou moins isolante. Si l'on admet main-

tenant, à la place de cette pierre, un plancher métallique en communication électrique avec la terre, il devient évident que tout choc de la foudre sera mortel (*fig.* 38).

Voici le résultat d'expériences de M. Perrot, soumises à l'Académie des sciences dans la séance du lundi 15 septembre 1862 :

« 1° Le toit métallique d'un édifice, communiquant ou non avec le paratonnerre, ne préserve pas, comme on l'admet, les planchers métalliques inférieurs de l'influence électrique du nuage orageux. Chacun de ces planchers, s'il est en relation avec le paratonnerre qui reçoit le coup de foudre, lance des étincelles foudroyantes aux corps conducteurs environnants.

« 2° Par conséquent, si l'on veut éviter, dans un édifice où il entre surtout beaucoup de fer, les accidents analogues à celui qui s'est produit, le 2 août dernier, dans la caserne du Prince-Eugène, munie de sept paratonnerres, accident qui pouvait être si désastreux, il est indispensable de mettre le paratonnerre à l'abri de tout corps foudroyant, résultat que l'on peut obtenir à l'aide des modifications simples que j'ai préparées et qui ont reçu l'approbation de MM. Gavarret, Babinet, etc.

« Voici la disposition des expériences :

« A distance explosive d'un disque simulant un nuage et en relation avec la machine électrique, est placée une tige métallique communiquant au sol, et représentant le paratonnerre destiné à être foudroyé.

« Parallèlement à ce disque, et à quelque distance, sont disposées plusieurs feuilles ou grilles métalliques éloignées de quelques centimètres l'une de l'autre.

« Ces feuilles, dont le rôle est de représenter le toit et les divers planchers placés au-dessous, peuvent, à volonté, être mises en communication entre elles ou avec le paratonnerre.

« Maintenant, les feuilles métalliques étant isolées du paratonnerre foudroyé, l'étincelle et la commotion ressentie par la main qui touche ces feuilles, seront peu sensibles.

« Mais si l'une de ces feuilles est mise en communication avec le paratonnerre, elle donnera, à l'exclusion des autres, une étincelle et une commotion très-vives.

« Il en sera de même pour chaque feuille.

« Si, enfin, toutes communiquent avec le paratonnerre, toutes donneront l'étincelle et la commotion, chaque fois que le paratonnerre sera foudroyé.

« Si, pour rendre le résultat plus comparable à l'accident de la caserne, on fixe à l'une des feuilles foudroyantes une tige métallique représentant le tube à gaz qui pénétrait dans le corps de garde foudroyé, on remarque que l'étincelle qui éclate à l'extrémité de cette tige est plus longue que les autres, et que la main qui s'en approche devient une cause déterminante du coup foudroyant sur le paratonnerre.

« Je crois devoir ajouter que les feuilles métalliques exercent encore leur action foudroyante quand elles ne sont séparées du paratonnerre que par un faible intervalle. »

M. Dumas fit, à ce sujet, ressortir avec bonheur l'opportunité des recherches de M. Perrot, et l'habileté de ses expériences. Il a mis, dit-il, la main sur un problème de très-haute importance, et il en donnera la solution complète, à la grande satisfaction des physiciens, des constructeurs et des marins.

Voilà la première protestation contre l'habitude très-dangereuse que l'on avait, d'après Gay-Lussac et Pouillet, de réunir les parties métalliques d'un bâtiment au conducteur du paratonnerre.

Cette conclusion de M. Perrot, qui ne fait que confirmer la première, vient à l'appui de notre système. Quoique nous indiquions le moyen de donner à la mise à terre du câble une surface suffisante pour atténuer les craintes formulées par M. Perrot et si bien accueillies par l'Académie, nous n'hésitons pas à prendre toujours les précautions nécessaires pour la sauvegarde des gens, fût-ce aux dépens (ce qui ne me

semble nullement démontré), des bâtiments, parce que tant de causes diverses peuvent rendre un paratonnerre foudroyant, que l'hésitation nous paraît impossible.

Nous reprenons notre argumentation.

Le fluide électrique réparti dans une grande masse métallique sera-t-il plus redoutable, cette masse étant isolée, que si elle est reliée au câble d'un paratonnerre? Non, redirai-je encore, car l'électricité accumulée n'est pas nuisible, et elle n'est à craindre que lorsqu'elle est en mouvement.

Il faut voir d'abord si le bâtiment à charpente métallique est bâti avec fondations enfoncées dans le sol, ou s'il repose simplement sur des dés en pierre. Dans le premier cas, inutile d'y joindre le paratonnerre, car le bâtiment participe naturellement de l'électricité terrestre. Et puisque le paratonnerre, placé plus près de la foudre, est plus exposé à en apporter les coups, il faut le séparer du bâtiment. Si c'est pour assurer l'écoulement de l'électricité du paratonnerre qu'on veut le relier aux charpentes métalliques, mieux vaut assurer sa mise à terre séparément et la rattacher aux conduites de service d'eau des villes; jamais à celles du gaz. Si le bâtiment, au contraire, repose sur des dés en pierre, et est de la sorte isolé, qu'on le laisse ainsi et qu'on ne s'évertue pas à lui créer un contact qu'un orage peut rendre fâcheux.

Veut-on assurer la diffusion de l'électricité? que la mise à terre soit suffisante. J'en donnerai les moyens.

Si la mise à terre est bonne, à quoi peut servir de lui en adjoindre d'autres, puisque la terre absorbera ou livrera par son intermédiaire tout ce que le paratonnerre en plein et suffisant fonctionnement pourra lui apporter ou lui soutirer d'électricité? Qu'on ne relie donc pas les planchers en fer avec le sol.

Finalement, si l'on a crainte encore de voir le feu céleste frapper les masses métalliques d'un bâtiment, malgré l'existence d'un bon paratonnerre, à cause de leur isolement du

sol, eh bien, quoique je considère comme fâcheuse cette précaution désirée, que l'on mette chacune des masses en communication avec le sol par une mise à terre particulière, distincte et éloignée de celle du paratonnerre ; le moyen est bien simple et peut concilier les systèmes opposés. Que même on multiplie ces mises à terre ; et, mieux encore, qu'on multiplie les flèches.

M'est-il permis de dire que Pouillet, ce savant émérite, cet homme loyal et consciencieux, a reconnu devant moi qu'il s'était trompé en prescrivant de rattacher les ferrures des bâtiments aux paratonnerres, quand ces ferrures étaient très-importantes et avoisinaient les personnes? Que dire de plus ?

Mais si la foudre tombe sur le bâtiment sans toucher le paratonnerre ? pourra-t-on dire encore. Nous répondrons que la foudre ne tombe pas. Si elle trouve à côté du paratonnerre un conducteur électrique supérieur au sien, c'est que ce paratonnerre est défectueux, et autant vaut alors n'en pas avoir. Il doit dominer le bâtiment, le couvrir, le protéger; voilà ses conditions. S'il ne les remplit pas, mieux vaut que le bâtiment en reste dépourvu. Il y a cent chances contre une pour que la foudre frappe le paratonnerre d'un édifice plutôt que l'édifice lui-même. Si ce paratonnerre est incomplet et que la charpente métallique soit rattachée au câble, il y a aussi, dans ce cas, cent chances de danger contre une de garantie.

Ce n'est pas seulement d'un paratonnerre mal fait que peut venir le danger à son contact. Dans les décharges orageuses, chacun a pu voir que l'air est embrasé dans leur voisinage. Les objets qui vous entourent s'agitent et s'illuminent ; des étincelles courent sur les surfaces métalliques; on est souffrant; le système nerveux est surexcité et vibre, pour ainsi dire, sous les coups du tonnerre ; cependant on se trouve dans des maisons en pierre et par conséquent isolées. Que serait-ce donc si l'on se trouvait sur des masses métalli-

ques adjointes au paratonnerre et participant ainsi à l'attraction et à la décomposition des fluides en présence et en combat!

En reliant ces masses métalliques au paratonnerre, que recherche-t-on? Ces masses doivent-elles suppléer le paratonnerre, ou celui-ci doit-il les préserver? Mais, premièrement, si l'appareil est complet, le secours demandé en dehors de lui est inutile s'il n'est nul; et, secondement, si les pièces de fer sont enfoncées dans la terre ou en contact avec elle, si elles touchent aux conduites d'eau et de gaz aménagées dans le bâtiment, on crée dans les charpentes, pour les temps d'orage, un courant qui pourra devenir dangereux, comme nous avons dit. De plus, ce courant devra, aux termes des instructions, passer d'un étage à l'autre par des tiges de fer reliées par des boulons. Or, ce fer peut rougir (nous l'expliquerons plus loin) et les tuyaux de plomb s'échauffer jusqu'à la fusion. Tel sinistre, dont la cause est restée ignorée, n'en a certainement pas eu d'autre. Encore une fois, si le paratonnerre est bien établi et complet, le soin d'y rattacher les masses métalliques d'un bâtiment est chose superflue, de même que s'il est imparfait cette jonction est dangereuse.

Je ne sais si je suis parvenu à convaincre mes lecteurs de la nécessité d'isoler les appartements; je pense du moins avoir justifié suffisamment à l'avance les mesures d'isolement que je prescrirai dans le cours de cet ouvrage.

CHAPITRE X.

DU CONDUCTEUR.

Ce qu'en disent les instructions de Gay-Lussac. — « Le conducteur du paratonnerre est une barre de fer partant du pied de la tige et se rendant dans le sol. On donne à cette barre de 15 à 20 millimètres en carré ; mais 15 millimètres sont réellement suffisants. On la réunit solidement à la tige en la pressant entre les deux oreilles du collier, au moyen d'un boulon, ou bien on la termine par une fourchette qui embrasse la queue de l'étrier, et l'on boulonne les deux pièces ensemble.

« Le conducteur ne pouvant être d'une seule pièce, pour le former on réunit plusieurs barres bout à bout. Il est soutenu à 12 ou 15 centimètres parallèlement au toit, par des crampons à fourche, auxquels, pour empêcher l'infiltration de l'eau par leur pied dans le bâtiment, on donne la forme suivante (*fig.* 47, *chap.* XI) :

« Au lieu de se terminer en pointe, ils ont une patte formée par une plaque mince de 25 centimètres de long sur 4 de large, à l'extrémité de laquelle s'élève la tige du crampon, en faisant avec la plaque un angle droit, ou un angle égal à celui que forme le toit avec la verticale.

« La plaque se glisse entre les ardoises ; mais pour plus de solidité, on remplace par une lame de plomb l'ardoise sur laquelle elle reposerait, et l'on cloue ensemble, au-dessus d'un chevron, cette lame et la patte du crampon. Le conduc-

teur est retenu dans chaque fourchette par une goupille rivée, et les crampons sont placés à environ 5 mètres les uns des autres.

« Le conducteur, après s'être replié sur la corniche du bâtiment sans la toucher, s'applique contre le mur le long duquel il doit descendre dans le sol, et se fixe au moyen de crampons que l'on fiche ou que l'on scelle dans la pierre.

« Les barres de fer qui forment le conducteur présentant, en raison de leur rigidité, quelque difficulté pour leur faire suivre les contours d'un bâtiment, on a imaginé de les remplacer par des cordes métalliques qui, indépendamment de leur flexibilité, ont encore l'avantage d'éviter les raccords et de diminuer les chances de solution de continuité. On réunit quinze fils de fer pour faire un toron, et quatre de ces torons forment la corde, qui alors a 16 ou 18 millimètres de diamètre. Pour prévenir sa destruction par l'air et l'humidité, chaque toron est goudronné séparément, et la corde l'est ensuite avec beaucoup de soin. On l'attache à la tige du paratonnerre de la même manière que le conducteur fait avec des barres de fer, c'est-à-dire qu'on la pince fortement au moyen d'un boulon entre les deux oreilles du collier, qui sont un peu concaves et hérissées de quelques pointes pour mieux embrasser et retenir la corde. Les crampons qui la supportent sur le toit, au lieu d'être terminés en fourche, le sont par un anneau dans lequel passe la corde. Parvenue à 2 mètres du sol, on la réunit à une barre de fer de 15 à 25 millimètres en carré, qui termine le conducteur; car, dans le sol, la corde serait promptement détruite. On assure que des cordes ainsi employées n'ont pas éprouvé d'altération sensible dans l'espace de trente années. Néanmoins, comme il est incontestable que les barres de fer bien assemblées sont beaucoup moins destructibles, nous conseillerons de leur donner la préférence autant qu'on le pourra. Si les localités obligeaient à employer des cordes, on pourrait les faire en fil de cuivre

ou de laiton, qui est beaucoup moins destructible et qui, étant aussi meilleur conducteur, permettrait de ne donner aux cordes que 16 millimètres de diamètre. C'est surtout pour les clochers que les cordes métalliques peuvent être d'une grande utilité, à cause de la facilité de leur pose. »

Choix des matériaux. — Comme on le voit, il n'est question, dans l'*instruction* de Gay-Lussac, que de conducteurs en fer, barres ou câbles. Ce fut moi qui, dès 1862, jetai, je crois, le premier cri d'avertissement, par la note citée à la fin de ce livre, sur l'insuffisance des conducteurs en fer. Un coup de foudre venait alors de rompre, en les brûlant, les chaînes d'un pont suspendu sur la Loire.

Pouillet, tout en formulant des craintes sur la résistance du fer, dit qu'il n'est pas d'exemple de conducteur de fer brûlé par un coup d'orage. Cependant on cite souvent des flèches de fer qui ont été fondues de cette manière : celle de Franklin, par exemple.

Je m'informai de l'état de fonctionnement des conducteurs en fer de la poudrière de Nantes, installée dans le château. Il était très-bon, mais on me fit observer qu'on avait un soin continuel de ces conducteurs. Je demandai s'ils ne s'échauffaient pas en temps d'orage ; la réponse fut que si, et tellement, qu'ils allaient jusqu'à rougir et allumer la braise de boulanger entourant leurs racines. J'en conclus que le fer est propre à l'installation des paratonnerres, mais à la condition d'une surveillance continuelle, surveillance que l'on oublie généralement et qu'on ne peut guère exercer, surtout dans les maisons d'habitation ordinaires. Les câbles en cuivre sont à ce point de vue infiniment préférables, mais il faut distinguer entre le cuivre rouge et le cuivre jaune. Ce dernier ne présente pas une économie proportionnelle à son efficacité puisque son prix est d'un tiers seulement au-dessous de celui du cuivre rouge, tandis que sa propriété conductrice est 8 fois moindre

Je donne, dans la note qui se trouve à la fin de cet ouvrage, les raisons qui me font préférer tel métal à tel autre, et qui tiennent à la théorie des conducteurs métalliques. Je vais maintenant ici, à ce point de vue, examiner les qualités et les défauts des câbles en fer, en cuivre jaune ou laiton, et en cuivre rouge.

Selon moi, les câbles de fer sont préférables, pour des conducteurs, aux barres de même métal, qui, pourtant, ont été employées le plus souvent. Quoique d'un plus grand diamètre pour donner une égale section, ils sont plus faciles à placer, plus maniables, plus souples. On n'a pas besoin de la forge pour les plier au droit des profils ou des ornements quelconques d'un édifice, et les raccords sont inutiles, puisqu'on peut leur donner la longueur nécessaire; mais eût-on besoin d'en faire, que le moyen en est simple, comme on le verra plus loin. Ils peuvent être galvanisés [1], tandis qu'il est difficile que les barres le soient.

Notre tableau de la conductibilité des diverses substances indique :

Argent.	100
Cuivre rouge ou rosé. .	91.44
Fer.	12.25
Laiton.	12

Il y a donc tout avantage à employer le cuivre rouge. C'est plus cher, mais je l'ai dit : pas d'économie infime pour les objets de haute utilité. Si l'on prend le laiton ou le fer, il faudra les employer sous une section plus grande, proportionnellement à leurs coefficients de conductibilité.

Lorsque l'électricité circule dans un conducteur, si la rapidité du mouvement ou le volume du fluide dépassent la capacité du conducteur, qui peut être en ce cas considéré comme le

1. La galvanisation n'était pas encore inventée quand les *instructions* de Gay-Lussac préconisaient des barres en fer.

tube dans lequel circulerait un liquide, une vapeur, un gaz, le conducteur est échauffé parfois jusqu'au rouge, jusqu'à la fusion, jusqu'à la volatilisation. Semblable aux corps frottants, qui ne s'échauffent pas quand ils glissent sur des surfaces lisses et polies, mais qui brûlent promptement quand ils parcourent avec force une surface rugueuse, l'électricité s'écoule doucement dans un bon conducteur et échauffe les conducteurs imparfaits; et si ces conducteurs sont de nature fusible ou volatilisable, il sont fondus ou brisés.

La vitesse de propagation de l'électricité dépasse celle de la lumière dans les bons conducteurs, mais elle est retardée comme par une sorte de frottement dans les mauvais. Par exemple, un courant développé par une forte pile demeure quelques minutes avant de franchir un fil de coton d'un mètre; il se fera sentir plus vite si le coton est humecté.

La vitesse de propagation de l'électricité dans les conducteurs est en raison de leur section, multipliée par leur coefficient de conductibilité et divisée par leur longueur. Cette formule est exacte pour les bons conducteurs, tels que les métaux; elle l'est moins pour les métalloïdes, les dissolutions salines, les liquides. L'hydrogène carboné est aussi un bon conducteur de l'électricité.

Les mauvais conducteurs, tels que les bois, les textiles, les sels secs, sont franchis lentement, mais donnent passage au courant.

Les corps isolants, tels que les verres, les résines et les gommes, ne sont traversés que par des coups violents, avec déchirement ou dissolution de leurs parties. L'air atmosphérique est un isolant énergique, quand il est sec. La lame électrique qui le traverse ne le fait qu'à l'aide d'un effort contre sa résistance, d'où son échauffement jusqu'à la chaleur rouge ou blanche, qui le fait apparaître comme une lame de feu.

Section à donner aux câbles. — Quelle grosseur donner à un

câble de paratonnerre ? Pour répondre nettement à cette question il faudrait savoir dans quelle limite l'électricité *emplit* son conducteur, et quel est le volume d'électricité développé dans un paratonnerre par un coup d'orage. Je vais examiner ces points, et tenter de poser les bases d'une méthode rationnelle pour la détermination approximative de la grosseur qu'il convient de donner aux conducteurs. Rien de pareil n'a encore été fait, que je sache.

Le câble en cuivre rouge du paratonnerre de l'église Sainte-Croix, à Nantes, a un centimètre de diamètre; il est formé de sept torons de sept fils chacun; les fils ont 1 millimètre de diamètre. J'ai été témoin d'un orage et de coups violents qui l'ont parcouru, et il ne porte aucune trace de détérioration. Cette dimension peut donc être admise; cependant elle me semble faible. Le câble qui existait avant celui dont je parle, de cuivre rouge aussi, s'était trouvé rompu d'un coup de foudre et endommagé sur une partie de sa longueur; il avait 8 millimètres. Je sais des barres conductrices de 5 millimètres, qu'un seul orage a détérioriées et rongées, comme l'auraient fait à peine dix ans de rouille.

M. Viollet-le-Duc, dont j'ai eu l'honneur de citer les paroles, a vu, à Carcassonne, des câbles de paratonnerres brûlés par l'usage. Ils avaient 18 millimètres. « En cette ville, me dit-il, les orages sont fréquents, journaliers dans certaines saisons. » En pareil cas, la grosseur de 18 millimètres serait donc insuffisante.

En admettant une grosseur de 1 centimètre, au minimum, à 2 centimètres, au maximum, en cuivre rouge, pour desservir une seule flèche, grosseur déterminée d'après la fréquence ou la force des orages habituels du pays où l'on se trouve, et pour une longueur de câble de 25 mètres hors de terre, on peut, en s'en rapportant aux exemples précédents, se croire dans le vrai.

Je laisserai, sur cette donnée, les constructeurs de para-

tonnerres déterminer eux-mêmes la grosseur de leurs câbles conducteurs, d'après les dangers qu'ils ont à prévenir et quelque peu, aussi, d'après les ressources mises à leur disposition. Quant à ce qui se rapporte à la nature des conducteurs, ils devront appliquer la règle suivante : que, pour le cuivre rouge ou rosé, la grosseur adoptée étant 1 centimètre de diamètre, la grosseur correspondant à une égale conductibilité devra être, pour le laiton 7.62 fois la section précédente ou 27^{mm} 5 de diamètre, et pour le fer 7.46 fois la section du cuivre rouge ou 27^{mm} 3 de diamètre.

La résistance qu'un conducteur oppose à l'écoulement de l'électricité étant en raison de sa longueur, on augmentera la grosseur du câble à mesure que cette longueur augmentera; j'entends la longueur hors de terre. Si l'édifice est très-élevé, soit de lui-même, soit par sa situation, il conviendra de faire le câble encore plus fort, parce que la proximité des nuées en temps d'orage fera passer par ses fils un plus grand volume d'électricité. Enfin, si le câble desservait plusieurs flèches, il faudrait également augmenter son diamètre en conséquence ; mais il faut se rappeler qu'on ne doit jamais joindre plus de deux flèches à un seul conducteur.

Dans tous les cas, il ne faut pas adopter des dimensions inférieures à celles que j'ai données comme minimum ; on peut toujours les augmenter, au contraire, sans autre inconvénient que celui de la dépense.

Je voudrais que tout constructeur fût convaincu qu'en plaçant un appareil de préservation, il tient en ses mains la vie des hommes ; qu'il sentît sa conscience intéressée au bon établissement d'un paratonnerre, et ne négligeât rien pour en assurer l'efficacité ; que, n'acceptant aucune modification pour cause d'économie, il imposât aux propriétaires les dimensions et le choix des objets qu'il doit employer ; que, surtout, repoussant toute idée de lucre illicite, il ne se servît jamais, à l'insu de ceux qui le payent, de pièces trop faibles ni de métaux

avariés ; qu'il fût convaincu, en un mot, que ce n'est pas simplement un métier qu'il fait, mais une mission qu'il remplit.

On devra visiter souvent les câbles ou barres de fer qui servent de conducteurs, au moins après chaque orage. On devra s'assurer s'ils n'ont pas été endommagés ou rompus par le passage des ondes électriques, car le fer est souvent, sinon toujours, altéré par le passage de l'électricité. Les dégradations se rencontrent, le plus souvent, au milieu de la longueur d'un conducteur, s'il est toutefois homogène dans toute son étendue. Quand le conducteur est composé de barres de fer, les altérations sont produites par l'oxydation ; quand c'est un câble, les fils sont oxydés, et de plus peuvent être devenus cassants, diminués de volume ou rompus.

Des effets analogues se produisent dans le cuivre, surtout quand il est d'une section insuffisante. J'ai remarqué souvent des modifications de l'état moléculaire de fils conducteurs, causées par le passage de l'électricité. Les appareils télégraphiques, les appareils d'induction surtout, ont parfois les fils de leurs bobines d'électro-aimants, ou d'induction, rompus en mille endroits ; les brins qui demeurent entiers sont cassants et aigres. Les fils servant de conducteurs dans les piles, d'un élément à l'autre, deviennent aussi parfois sans cohésion. J'ai retiré des câbles de paratonnerres, qui étaient brûlés et dont les fils s'émiettaient entre les doigts. L'électricité étant répulsive de ses propres parties de même nom, ce sont les fils extérieurs qui sont le plus endommagés, ce qui prouve que ce sont bien les chocs électriques qui sont la cause de ces dégradations, et non l'oxydation, laquelle ne saurait assurément produire de tels ravages.

Dans les endroits où les orages sont fréquents et d'une grande force, ce ne serait donc pas de trop que de doubler au moins le diamètre des câbles d'une grosseur déjà suffisante pour d'autres lieux ; car la résistance des conducteurs est en raison inverse du carré de leur diamètre. La résistance étant la seule

cause des dégradations causées par le passage de l'électricité, on augmentera, proportionnellement au carré des diamètres, la durée et l'efficacité des câbles.

Fabrication des câbles métalliques. — Je fais faire mes câbles par des cordiers. On en fait aussi d'excellents à la mécanique. Je me sers habituellement de fil d'environ 1 millimètre. Si l'on a des fils qu'on veuille utiliser, et que ces fils soient d'autres numéros que ceux compris dans la table suivante, qui donne le poids des câbles selon la grosseur du fil employé, et le nombre des torons dont ils sont composés, il est facile, par une formule de proportion, de ramener à des numéros cités les numéros dont on dispose.

Les câbles, autrefois, ne présentaient pas la régularité de façon qu'ils offrent aujourd'hui. Ils étaient tous faits de quatre torons, sans âme à l'intérieur, et il fallait augmenter ou diminuer le nombre des fils de chaque toron, pour modifier la grosseur du câble. Aujourd'hui, on les compose toujours de sept fils par toron ; suivant la grosseur du câble, c'est le nombre des torons qui varie. Ce nouveau mode de fabrication offre toute la régularité désirable, car, de cette manière, tous les fils sont couchés les uns contre les autres sans jamais s'entrelacer.

Les fils de cuivre, le plus généralement employés pour la fabrication des câbles de paratonnerres, sont les numéros 6 et 8.

GROSSEUR ET POIDS DES CABLES MÉTALLIQUES.

Fil nº 8 de la jauge, ou 1mm.30 de diamètre. — Les torons sont de 7 fils chacun.

Nombre de torons donné aux câbles.	Circonférence des câbles.	Diamètre moyen des câbles.	Poids du mètre en fil de fer Densité : 7.788.	Poids du mètre en fil de cuivre rouge. Densité : 8.878.	Poids du mètre en fil de laiton. Densité : 8.395.
—	—	—	—	—	—
3	0m.023	0m.007,7	0k.200	0k.228	0k.213,5
4	0 .027	0 .008,6	0 .308	0 .351	0 .329
5	0 .032	0 .010,2	0 .425	0 .484,5	0 .453,5
6	0 .037	0 .011	0 .540	0 .615,5	0 .556
7	0 .042	0 .013	0 .660	0 .758,5	0 .704
8	0 .047	0 .015	0 .825	0 .940,5	0 .880

Fil nº 6, ou 1mm.10 de diamètre. — Les torons sont de 7 fils chacun.

Nombre de torons donné aux câbles.	Circonférence des câbles.	Diamètre moyen des câbles.	Poids du mètre en fil de fer Densité : 7.788.	Poids du mètre en fil de cuivre rouge. Densité : 8.878.	Poids du mètre en fil de laiton. Densité : 8.395.
—	—	—	—	—	—
3	0m.021	0m.007	0k.165	0k.188	0k.176
4	0 .024	0 .008	0 .220	0 .251	0 .235
5	0 .028	0 .008,9	0 .303	0 .345	0 .323
6	0 .032	0 .010,2	0 .385	0 .439	0 .411
7	0 .035	0 .011,1	0 .471	0 .537	0 .502,5
8	0 .039	0 .013	0 .590	0 .672,5	0 .629,5

Le n° 6 de la filière, dite carcasse, correspond au diamètre de 1mm.10, et le n° 8 à celui de 1mm.30. Ce dernier numéro s'emploie pour les câbles d'une dimension un peu forte.

On fait aux câbles des âmes intérieures proportionnées au nombre des torons et suivant le vide qu'ils laissent entre eux.

Le câble de sept torons est celui qui se remplit le plus exactement.

On fait l'âme de ces câbles, tantôt en métal, tantôt en chanvre goudronné. Cette dernière manière, qui a toute l'apparence d'une fraude quand on n'est pas prévenu, est cependant préférable à certains points de vue. Les câbles y gagnent une souplesse et une élasticité que ne peuvent avoir, par exemple, ceux à sept torons, quand l'un de ces torons est au centre, car celui-ci oppose aux autres une surface rigide, quand, par le câblage, ils sont pressés sur lui. De plus, ce toron central ne peut permettre l'extension.

Un câble ayant une âme se replie, se *love* et se déroule mieux qu'un câble dépourvu de cette âme, et les petits accidents qui plient, bouclent et faussent le câble, sont plus faciles à prévenir et à corriger. Le câble étant payé au poids, je préfère (toute pensée de fraude écartée) celui qui a une âme en chanvre. Une fois en place, cependant, toute cause de préférence disparaît.

Les dimensions et les poids donnés par notre table sont aussi exacts que possible. Quelques observations sont cependant nécessaires.

Le cuivre, surtout le cuivre rouge, se laisse facilement comprimer, de sorte que le câblage pouvant être plus ou moins serré, le diamètre des câbles et leur poids spécifique peuvent varier. Le bout du câble qui a commandé la torsion de fabrication, est toujours plus tordu, plus serré, que celui qui n'a reçu l'action des machines qu'après lui. Les chiffres de notre table ne sont donc pas rigoureusement exacts.

Les câbles en fer, métal plus dur et plus ferme que le cuivre, sont ceux auxquels nos chiffres s'appliquent le plus

exactement; et pourtant, pour eux encore, les dimensions et les poids ne peuvent être absolus; mais les différences possibles ne dépassent pas cinq pour cent.

Les poids donnés supposent des âmes en fils de métal; il y a donc lieu de faire une correction, quand ces âmes sont en chanvre.

Pose et préservation des câbles. — Lorsque le câble d'un paratonnerre doit passer dans des colonnes creuses en fonte, dans des tubes de métal attenant aux constructions, ou descendre le long de ferrures volumineuses, il les faut envelopper de cordes goudronnées dans toute la longueur exposée aux contacts, ce qui s'appelle fourrer, en terme de marine, et se fait par les gréeurs. Loin des parages maritimes les cordiers peuvent faire ce travail.

Si l'on fait descendre un câble de cuivre dans un puits dont l'eau serve à l'alimentation, et où il se trouve soumis à des alternatives d'humidité et de sécheresse, il s'oxydera, deviendra dangereux pour la santé de ceux qui boivent cette eau, et se coupera promptement, laissant ainsi le paratonnerre sans issue. Il convient alors de faire étamer ce câble de cuivre dans toute la partie qui se trouve mouillée, même quelques mètres au-dessus; et il faut prendre soin de le visiter de temps en temps, pour s'assurer que l'étamage ne manque pas, puis le faire étamer à nouveau à la moindre apparence de besoin.

Le câble en laiton, présentant les mêmes dangers que le câble en cuivre rouge, sera soumis aux mêmes soins. Le câble en fer ne saurait être nuisible. Le câble ou les barres en fer gagneront à être galvanisés, car le zinc est au-dessus du fer dans les échelles de la conductibilité et de l'oxydabilité, et l'électricité affecte toujours les surfaces extérieures; le conducteur ainsi sera d'un meilleur fonctionnement et se conservera mieux que sans galvanisage.

Si le câble en cuivre devait passer, pour rejoindre la mise à terre, dans des endroits où il se trouverait exposé au contact d'eaux ménagères ou ammoniacales, ou d'eau de mer, il le faudrait envelopper d'un tuyau de plomb dont tous les joints seraient soigneusement soudés; car l'ammoniaque est un dissolvant du cuivre. On souderait aussi l'extrémité de ce tuyau de plomb sur la pièce finale, pour former une fermeture hermétique garantissant la partie de câble ainsi enveloppée contre toute atteinte de ces eaux. Toute partie de câble accessible aux émanations ammoniacales doit être protégée de même.

Cette opération, consistant à faire passer le câble dans un tuyau de plomb, est facile pour les cordiers qui fabriquent les câbles, à l'aide des appareils de traction qu'ils possèdent. Mais la chose serait impossible à la main pour une longueur de dix mètres, par exemple, comme il peut être nécessaire. Pour souder les joints, on ouvre un peu l'entrée d'un des bouts du tuyau, et, y ayant fait pénétrer le bout du tuyau suivant, on fait couler au chalumeau de la soudure d'étain dans le joint. Tous les ouvriers plombiers font parfaitement ce genre d'ouvrage.

Tout câble doit être d'une seule pièce, sans aucune solution de continuité, depuis son attache à la flèche, attache qu'il faut faire solide, comme nous avons déjà dit, jusqu'au grappin servant de mise à terre, auquel il doit être soudé fortement, comme on le verra plus loin. Il se peut, cependant, qu'on se trouve obligé de joindre ensemble deux bouts de câbles, soit que le pays où l'on se trouve ne possède pas de corderie capable de fournir d'un seul tenant la longueur dont on a besoin, soit que l'on veuille utiliser deux parties de câbles qu'on possède. Il faut bien se garder alors de simplement juxtaposer les bouts et de les lier ensemble plus ou moins solidement; car cette attache, toujours insuffisante, peut se défaire et créer un danger terrible. Il ne faut pas, non plus, assembler des cuivres de différentes qualités, ni une partie de vieux câble avec un câble neuf, car tout l'effort de dissolution produit par l'électricité se

porterait sur le cuivre le moins pur ou sur celui chargé de vétusté, et la dégradation du câble serait plus prompte que s'il était totalement vieux ou de qualité inférieure. L'effet qui se produit est analogue à celui que j'ai expliqué en parlant du galvanisme, avec cette différence que l'action est ici beaucoup plus puissante.

Si l'on ne peut, enfin, se dispenser de relier ensemble deux bouts d'un câble conducteur, l'*épissure* est un excellent moyen. Épissure est un terme de marine, indiquant le procédé employé en pareille circonstance, pour des cordes de toutes épaisseurs, au lieu du nœud, qui ne peut courir dans les gorges des poulies.

Pour faire une épissure, on détord la corde ou le câble. (Supposons une corde, qui est plus facile à manier qu'un câble métallique. Le procédé est le même dans les deux cas.) On détord, dis-je, une longueur de 10 centimètres environ, à chacun des bouts qu'on veut réunir. J'admets l'existence de quatre torons (*fig.* 39). On approche l'un de l'autre les deux bouts de

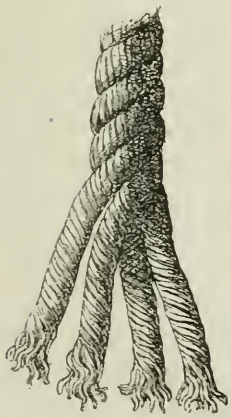


Fig. 39.

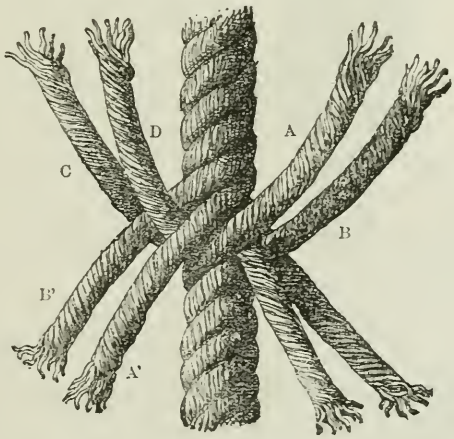


Fig. 40.

corde détordus, leurs torons séparés, de telle façon que les torons d'un faisceau s'entrelacent séparément et alternativement avec ceux correspondants du faisceau opposé (*fig.* 40).

L'approche des bouts de corde doit être faite à fond. On détord légèrement l'un des bouts au delà de la jonction, pour donner du lâche aux torons serrés, puis on passe dans l'un des vides ainsi produits un outil pointu, de bois ou de fer, que les marins appellent un *épissoir*, et de la sorte on forme un anneau. Dans cet anneau l'on introduit (*fig.* 40) le bout du toron A, par exemple, sous le bout encore cordé du toron B′, et par-dessus le bout encore cordé du toron A′ ; on tire pour serrer le toron introduit, et l'on fait faire un quart de tour à l'assemblage commencé ; puis on introduit à son tour le toron B sous le bout encore cordé du toron A′, par-dessus le toron A déjà engagé, et ainsi de suite, successivement, pour les torons C et D.

Fig. 41.

Alors on change de côté, et l'on répète, pour l'enfilage des torons du second bout de corde, l'opération ci-dessus décrite pour le bout précédent : le toron A′ passe par-dessus le bout encore cordé du toron A, et sous le bout encore cordé du toron B ; le toron B′ par-dessus le toron A′ et sous le bout encore cordé du toron A, et ainsi de suite. L'épissure achevée est représentée figure 41. C'est un assemblage très-solide, et le contact des parties en est parfait.

Si l'on ne sait ou si l'on ne peut faire faire une épissure, il faut, après avoir entrelacé les torons comme à la figure 40, les détordre et réunir tous les fils en un faisceau cylindrique, ceux d'un bout enroulés séparément autour de ceux correspondants de l'autre bout. Une ligature de recouvrement, bien unie et serrée fortement, termine l'assemblage (*fig.* 42).

La figure 35, donnée antérieurement, représente un œil de

câble, en ligature, et la figure 34, un œil en épissure. Les opérations que leur exécution exige sont pareilles à celles ci-dessus décrites.

Quand une épissure est bien faite, la traction faite en vue d'en séparer les parties ne ferait que les serrer davantage.

Fig. 42.

Si l'on fait une ligature, ou même une épissure, il est bon d'assurer le parfait contact des fils par une soudure. C'est un ouvrage que les plombiers, les ferblantiers, les chaudronniers, etc., savent faire.

Si l'on n'a pas quelqu'un de ces ouvriers sous la main, les soudures faites au fer à souder par d'autres, à leur exemple, pourraient être mauvaises. Il vaut mieux alors les faire au feu. Je préfère même la soudure ainsi faite à la soudure au fer.

La soudure au fer à souder, pour des objets de cette sorte, est d'une exécution pénible, et par suite peut se mal faire, à cause de la grande surface que présentent les pièces et les interstices régnant entre les fils, qui laissent l'alliage d'étain s'infiltrer entre eux pendant le travail et se déposer sans former soudure sur les parties non chauffées.

Je préfère placer l'objet à souder sur un feu de charbon. On l'imbibe largement d'eau à souder (c'est de l'acide chlorhydrique dans lequel on a fait dissoudre du zinc jusqu'à saturation. Du sel ammoniaque dissous dans de l'eau ordinaire rend le même service). On pose dessus l'étain en grenailles qui doit servir à la soudure, et l'on attend que la chaleur du feu ait échauffé le câble, jusqu'à faire fondre l'étain et remplir par lui tous les interstices. De cette manière, on peut être certain de la bonne réunion électrique des fils rassemblés (*fig.* 43).

Les mêmes prescriptions s'appliquent aux câbles en laiton.

Il a été fait des conduites de paratonnerres en fer, avec des barres réunies en une sorte de chaîne (*fig.* 44). Chaque chaî-

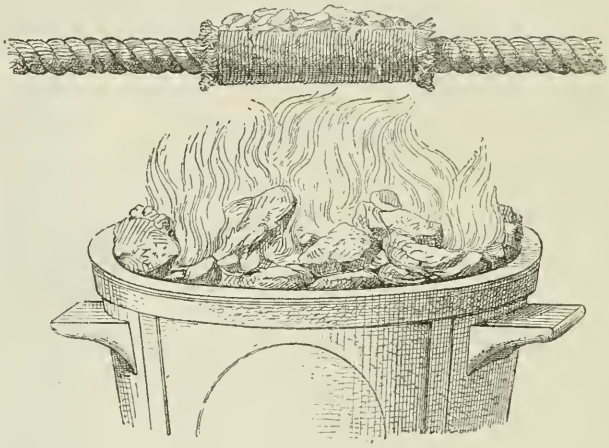


Fig. 43.

non avait plusieurs mètres de longueur. Nous ne connaissons rien de plus mauvais et de plus dangereux ; chaque attache est une résistance que rencontre l'électricité ; le contact métallique s'y trouve réduit à l'extrême, et ce contact est le plus souvent, toujours même, plus ou moins profondément entravé par l'oxydation. En temps d'orage, une accumulation d'électricité doit se produire à chaque nœud, et chaque fois que cette résistance est rompue, une étincelle électrique doit jaillir de tous ces nœuds. Malheur à ceux qui se trouveraient en contact ou même seulement à faible distance du conducteur ou de l'une des pièces d'un paratonnerre ainsi établi, capable peut-être de préserver la construction, mais capable aussi de tuer les personnes.

Fig. 44.

On lit dans la physique de Daguin : « Les chaînes ordinaires doivent être rejetées, les anneaux ne communiquant entre eux que par des surfaces étroites, où il ne

peut y avoir pression [1]. C'est ce qui est arrivé le 19 avril 1827, à la chaîne du paquebot le *New-York*; elle fut dispersée en fragments sur toute la longueur, et le pont fut couvert de globules de fer incandescent, gros comme des balles de fusil, qui y mettaient le feu malgré une couche épaisse de grêle et une pluie torrentielle. »

Quand les conducteurs de paratonnerres sont faits avec des barres reliées entre elles, on fait les attaches de jonction, soit avec des colliers à vis (*fig.* 45), soit avec l'assemblage représenté *fig.* 46, indiqué par Gay-Lussac et Pouillet.

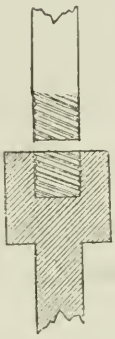


Fig. 45.

Fig. 46.

Je préfère, quant à moi, que les barres soient soudées entre elles à la forge, ce qui est facile à faire sur place, avec une forge volante. Un assemblage à vis ou avec des colliers, peut-être même avec de simples rivets, sera bien vite rouillé. Or, la rouille, comme tous les oxydes, est un mauvais conducteur de l'électricité; d'où une résistance qui provoque des chocs électriques, lesquels chocs sont un danger. Si l'on est forcé de faire des assemblages rivés ou à vis, ce qui est nécessaire si l'on a fait galvaniser les barres, que du moins on enveloppe chaque assemblage dans un manchon de soudure à l'étain. Il n'y a pas de sécurité sans cela.

J'ai déjà dit et je le répète : Un paratonnerre est un instrument passif; rien n'indique s'il agit ou s'il reste inerte. On compte ainsi parfois sur un appareil au contraire hors d'usage, et l'on s'endort avec confiance au souvenir de services qu'il vous a rendus réellement ou qu'on croit qu'il vous a rendus; ou bien on l'oublie, par suite de la rareté des orages; puis survient un sinistre, et l'on accuse à tort et la science et les

1. L'auteur parle de la pression des anneaux entre eux, insuffisants pour assurer un bon contact. Il doit y avoir, comme nous l'avons dit, pression électrique à chaque nœud.

architectes, tout le monde et les constructeurs, hors soi-même. A ce propos, je redirai encore : que le conducteur est le principal agent d'un paratonnerre, et qu'il doit être bien fait, bien placé, surtout bien entretenu et visité souvent, surtout s'il est en fer.

Quant un conducteur suit un chemin souterrain pour atteindre le point où doit être immergée son extrémité, il faut prendre les précautions nécessaires pour que l'eau des pluies ou de toute autre provenance ne pénètre pas ou ne séjourne pas dans le canal qui lui est préparé. Ne pas confondre l'humidité centrale, toujours constante, utile pour la diffusion de l'électricité, avec l'humidité passagère, qui peut lui manquer au moment où il doit agir. Une humidité constante ne nuit pas toujours aux métaux, mais le passage successif et souvent répété de l'humidité à la sécheresse les altère rapidement. Ces questions seront traitées en parlant de la mise à terre.

Il ne faut pas que le conducteur soit placé dans des conditions où il puisse être dégradé. Dans un lieu soit humide, soit sec, mais toujours à peu près dans le même état, un conducteur souffre peu et se conserve longtemps. J'en ai vu de bien vieux déjà ainsi placés, qui ne portaient aucune trace d'altération.

Je recommande de placer au droit des fenêtres près desquelles passe le conducteur d'un paratonnerre, une garantie suffisante pour éviter qu'en temps d'orage on ne s'y appuie ou ne le touche. A l'endroit où il pénètre en terre, près des habitations, il faut l'entourer d'une enveloppe en bois, de deux mètres environ de hauteur. Cela empêchera les gens malintentionnés de le dégrader ou de le dérober, et préservera des violences d'un orage les personnes, les enfants qui le pourraient toucher par mégarde.

Toute précaution serait superflue à partir du point où les conducteurs touchent terre, car ils sont arrivés alors ou sont près d'arriver au lieu où s'éteint leur action.

Conducteur en paille. — Avant de clore ce chapitre, je veux dire un mot des paratonnerres à conducteur de paille, d'un prix de revient presque nul, et qui pourraient rendre d'immenses services dans les campagnes, surtout dans les fermes isolées et situées sur des points élevés. Ne sait-on pas que c'est là et non pas dans les villes, que les sinistres causés par la foudre surviennent en majorité?

Que coûte une perche de bois dressée sur le sol ?	» fr.	»
Une flèche piquée au bout de cette perche ? . .	1	»
Une corde de paille, comme les habitants des campagnes les savent faire pour botteler? . .	»	»
Un trou en terre, pour l'enfouissement d'une botte de paille reliée à la corde servant de conducteur?	»	»
Total. . . .	1 fr.	»

Car tout cela, le cultivateur le peut faire lui-même, sans bourse délier. Il suffit de le savoir et de le vouloir.

Avant ou après les rudes travaux du labour et de la récolte, le cultivateur a des temps souvent fort longs de chômage presque absolu. Il peut faire alors de ses mains tout ce que je viens d'indiquer, pour se mettre à l'abri des orages. Pourquoi donc ne le fait-il pas? Mais pourquoi aussi les écoles agricoles n'enseignent-elles pas cela? C'est que la vulgarisation scientifique n'a pas encore fait entrer dans son domaine la question des paratonnerres.

Si quelques appareils rustiques sont élevés d'après mes conseils, je serai heureux d'avoir pu contribuer, pour ma part, à sauver peut-être quelque vie humaine.

Il suffira donc d'élever sur la chaumière ou le chalet une perche de bois surmontée d'une flèche aiguë en fer, de lier fortement sur cette flèche une corde de paille qui l'entoure, de faire descendre cette corde de paille en terre, de l'y attacher à

une botte de paille et de l'abandonner ainsi enfouie ; de veiller à la bonne conservation et à l'entretien de tout cet ensemble, qui sera d'ailleurs d'autant meilleur conducteur que la paille, qui ne doit jamais être rompue, sera plus près de tomber en décomposition.

On aura soin de faire que cette corde de paille ne touche de près ni de loin à aucun objet combustible, car la conductibilité de la paille étant imparfaite, il en résulte qu'elle court plus de risques, au contact de la foudre, qu'un conducteur métallique, et qu'elle pourrait être embrasée par le feu du ciel et causer de cette manière un sinistre, au lieu d'être un moyen de préservation.

Il faut donc se précautionner ; mais il faut bien comprendre aussi que ce n'est qu'accidentellement que la corde de paille servant de conducteur peut s'embraser. Placée dans le courant d'un circuit électrique, elle peut fort bien fonctionner sans prendre feu. C'est ainsi que, dans l'expérience de de Romas, que je relaterai plus loin, les pailles qui circulaient autour du feu électrique et le propageaient ne furent pas brûlées. De même des personnes peuvent être pour ainsi dire pénétrées de feu électrique sans en être aucunement incommodées.

La corde de paille devra cheminer le long de la perche, puis le long des murs, et aller jusqu'à se perdre en terre. La perche devra être enduite d'alun dissous dans l'eau, qui est un préservatif d'incendie, et la paille également, s'il est possible ; mais on aura soin de renouveler cet enduit que peuvent enlever les pluies à la longue. Dans tous les cas, la disposition de la corde de paille sera telle que son embrasement ne se puisse communiquer à l'habitation. C'est là chose bien simple à comprendre et à exécuter, et qui n'exige assurément aucun effort intellectuel.

La pointe en fer peut se trouver dans les fers de rebut, qu'une ferme garde toujours dans quelque coin, ou être achetée et préparée chez le forgeron du lieu. C'est la seule dépense

en espèces qui soit à faire, et l'on peut ainsi, pour un franc, ériger un paratonnerre rustique.

Pourquoi le clocher de village, quelque pauvre qu'il soit, ne posséderait-il pas un appareil de ce genre, qui serait un préservatif des maisons d'alentour ?

Si l'homme des champs, naturellement défiant des choses nouvelles, ne veut pas armer sa maison d'un paratonnerre, il le peut au moins élever sans crainte à côté, au moyen d'un long mât isolé, ou l'établir sur un arbre voisin, un peuplier, par exemple, au faîte duquel il fixerait la pointe de fer et que longerait le conducteur en paille allant se perdre en terre. Les bourgs, les villages souvent visités par le feu du ciel, seraient ainsi préservés à peu de frais; et il suffirait qu'un propriétaire intelligent en prît l'initiative, pour qu'à son exemple ses voisins, bientôt convaincus par les faits, l'imitassent, comme il est arrivé pour le paratonnerre des villes.

Aucun traité de physique ne donne le coefficient de conductibilité électrique de la paille ; mais depuis longtemps on y présente les conducteurs en paille comme suffisants. Depuis plus de cinquante ans, j'entends parler de *paragrêles*. J'en parlerai aussi dans cet ouvrage, et je renvoie mes lecteurs au chapitre qui y est consacré. Mais, pour ce qui est de la conductibilité de la paille, rien ne la justifie scientifiquement, si ce n'est l'empressement avec lequel les savants accueillirent les paragrêles à conducteurs de paille. Voici le récit de de Romas, déjà cité dans cet ouvrage ; c'est la seule preuve qui permette d'admettre la conductibilité électrique de la paille. Il s'agissait d'un cerf-volant électrique et des violentes manifestations de l'électricité céleste qui se produisaient :

« Trois longues pailles qui se trouvaient par hasard sur le sol commencèrent une sorte de danse de pantins qui réjouissait fort les spectateurs. Les pailles, soulevées de terre, s'élevaient en sautillant autour du cylindre de fer-blanc comme des marionnettes. Ce spectacle dura un quart d'heure. Ensuite,

quelques gouttes de pluie étant tombées, l'électricité redoubla d'énergie.

« De Romas cria aux assistants de se reculer, et lui-même jugea bon de ne plus tirer d'étincelles, même avec l'excitateur. Cet acte de prudence n'était que trop justifié. Ce ne fut pas sans effroi, en effet, que l'on entendit une explosion violente qui provenait de l'électricité du conducteur se déchargeant sur la plus longue des pailles.

« Le bruit de l'explosion, formé de trois craquements successifs, ne fut pas aussi fort que celui du tonnerre, mais on l'entendit jusque dans le milieu de la ville. La lame de feu qui parut au moment de cette explosion avait la forme d'un fuseau de quatre à cinq lignes de diamètre. La paille s'éleva le long de la corde du cerf-volant. On la vit jusqu'à une distance de 100 mètres, tantôt attirée, tantôt repoussée, avec cette circonstance, que chaque fois qu'elle était attirée par la corde, il en partait des lames de feu accompagnées d'explosions. »

CHAPITRE XI.

ISOLOIRS ET SUPPORTS.

Nous avons cité précédemment (pages 84 et 85) la partie des instructions de Gay-Lussac qui concerne cet objet. Nous donnons ici (*fig.* 47) le dessin du support dont il y est parlé.

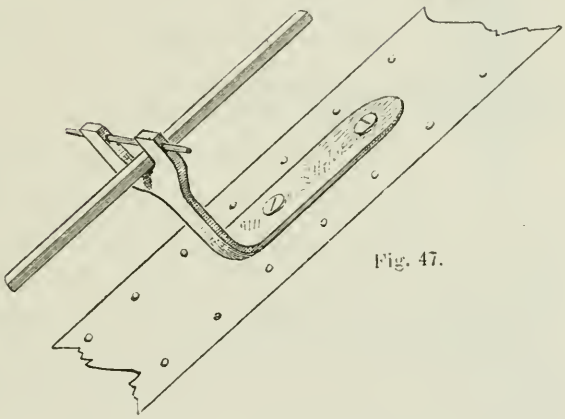


Fig. 47.

M. Pouillet dit peu de choses sur ce sujet.

Les idées émises dans le cours de cet ouvrage n'admettent pas que les supports des conducteurs soient faits sans isoloirs. Il s'agit là, d'ailleurs, d'une faible dépense, et ne pas les employer ne saurait avoir pour cause qu'un parti pris d'opposition contre le système que je préconise, qui n'est pas le mien en propre, mais celui d'individualités plus élevées que moi dans la science et jouissant d'une autorité plus grande que ma très-faible voix n'en peut avoir.

J'avais choisi primitivement pour isoloirs les pièces de verre fabriquées ordinairement pour cet usage. On les obtient à très-bon marché en faisant la dépense d'un moule pour le

verrier. On en trouve de prêts chez les marchands d'objets d'électricité. Leur forme est représentée par la figure 48. J'ai trouvé ensuite plus avantageux d'employer les isoloirs des lignes télégraphiques, qu'on nomme poulies (*fig.* 49). Ils sont faits d'un modèle unique, en porcelaine, des dimensions suivantes :

Fig. 48.

Fig. 49.

Diamètre extérieur.....	0^m052
— de la rainure.....	0^m040
— de l'ouverture.....	0^m015
Épaisseur.....	0^m030

Comme aspect, c'est mieux que le verre ; et c'est meilleur aussi comme pouvoir isolant, à cause de la plus grande épaisseur de matière. L'ajustage, enfin, en est plus facile et plus solide (*fig.* 50).

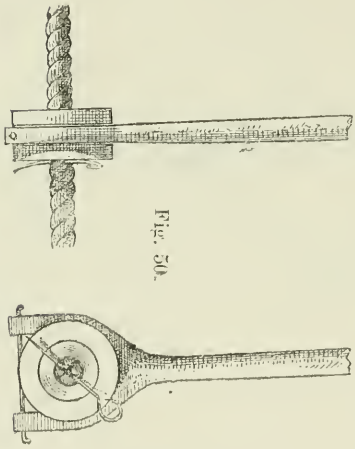


Fig. 50.

J'ai vu employer comme isoloirs des manchons de caoutchouc ou de gutta-percha. Ces matières végétales, qui sont d'ailleurs de bons isolants, se détériorent avec le temps, surtout en plein air et exposées aux alternatives de la pluie et du soleil. Elles se dessèchent rapidement, se fendillent, s'émiettent, tandis que le verre et la porcelaine sont inaltérables. Le prix de ces manchons est du reste plus élevé que celui des isoloirs de verre ou de porcelaine, et l'apparence en est malpropre.

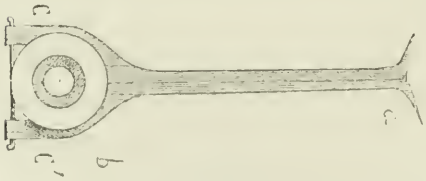


Fig. 51.

Les supports ou fourchettes (*fig.* 51) se font en fer et tout de forge. L'ouvrier prend du petit fer carré de un centimètre,

prépare deux baguettes de longueur et les réunit, puis les soude ensemble à la forge, de *a* en *b*, dans la longueur de la tige ; il écarte les pointes du bout destiné au scellement, et il courbe les branches C C′ de la fourchette de manière à y pouvoir placer exactement un isoloir. Deux trous percés dans les branches de la fourchette reçoivent une goupille servant d'axe et d'arrêt à l'isoloir. Une fois le câble passé dans l'isoloir, on rabat à coups de marteau les deux bouts de cette goupille, pour l'empêcher de sortir de place et de tomber.

Fig. 52.

Les supports placés sur les toits peuvent être préparés sur le modèle des instructions de Gay-Lussac (*fig.* 47). La figure 52 montre un support à vis disposé pour être arrêté dans du bois, soit chevron, soit poteau.

On doit prendre tous les soins possibles pour éviter que l'eau de pluie ne s'infiltre par l'ouverture qu'on a dû faire en plaçant ce support sur un toit. Les couvreurs sont au courant de cette besogne, et façonnent les raccords avec des feuilles de plomb ou de zinc. La nature molle du plomb permet d'établir facilement une jonction parfaite. Si les supports doivent être placés sur des charpentes en fer, il faut les y visser ou, si le taraudage du trou est difficile, les serrer dessus par leur tige à l'aide d'un écrou (*fig.* 53).

Fig. 53.

Quand le câble est placé et passé dans ses isoloirs, il est bon qu'il paraisse droit et uni, ce qui n'existe pas d'abord, car il garde toujours quelque pli ou quelque torsion, malgré les soins qu'on aura pris en le déroulant ; pour le rendre droit on opère sur lui une traction, en ayant soin de ne pas nuire à la solidité de ses attaches, et on le maintient tendu au moyen de chevilles en cuivre ou en fer galvanisé (*fig.* 50). Comme on peut n'avoir pas sous la main, pendant la pose, une pince, un étau ou une tenaille, il

est bon de préparer ces chevilles d'avance en leur ménageant un anneau d'un bout et une pointe de l'autre. Pendant que le câble est tendu, on y passe au delà de chaque isoloir une de ces chevilles, ce qui se fait facilement entre les torons en détordant légèrement le câble. On peut aussi, si on éprouve quelque peine à cette opération, retirer l'isoloir du support, fixer la goupille, puis, tendant le câble, remettre l'isoloir en place.

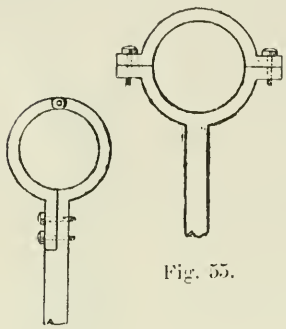


Fig. 55.

Fig. 54.

On a fait des supports d'isolateurs en forme de colliers assemblés par des vis (*fig.* 54 et 55). C'est très-bien, très-solide, mais coûteux. A quoi bon assembler à vis des objets qui ne doivent jamais être démontés, ou que la rouille mettra dans l'impossibilité de l'être au bout de peu d'années?

Si je me suis élevé contre des économies qui me semblaient compromettre l'efficacité des paratonnerres, j'entends par contre recommander l'économie partout où elle ne peut nuire en rien à leur bon fonctionnement.

Pour protéger les supports contre la rouille, surtout près de leur scellement, où ils se dégradent le plus vite, il est bon de les faire galvaniser.

Le scellement se fait au plâtre ou au ciment. Ce dernier est plus tenace, mais d'exécution moins facile, en ce sens que sa prise est plus lente. Je voudrais qu'on choisît pour place de scellement des supports la rencontre d'un mur de face avec un mur de refend, ou, si cela ne se peut, un point des murs de face dépassant, à chaque étage, la taille des plus grandes personnes enfermées dans les appartements, dans la crainte que ces personnes, appuyées par hasard contre ces murs, ne ressentent plus ou moins le contre-coup d'un choc électrique se manifestant dans le câble.

CHAPITRE XII.

DISPOSITION DU CONDUCTEUR DANS LE SOL.

Je traite, dans ce chapitre, de la partie des conducteurs qui pénètre dans le sol.

A partir du point où le conducteur touche terre, son isolement n'est plus à rechercher, mais, bien au contraire, sa diffusion électrique.

Les instructions de Gay-Lussac disent :

« Arrivé dans le sol, à 0^m50 ou 0^m55 au-dessous de sa surface, le conducteur se recourbe perpendiculairement au mur, se prolonge dans cette direction l'espace de 4 à 5 mètres, et s'enfonce ensuite dans un puits ou dans un trou fait dans la terre, de la profondeur de 4 à 5 mètres si l'on ne rencontre pas de l'eau, mais de moins si on la rencontre plus tôt.

« Le fer enfoncé dans le sol, en contact immédiat avec la terre et l'humidité, se couvre d'une rouille qui gagne peu à peu son centre et finit par le détruire. On évite cette altération

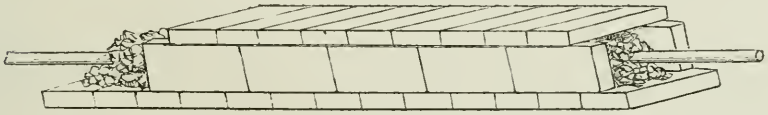


Fig. 56.

en faisant courir le conducteur dans un auget rempli de charbon (*fig.* 56). On construit l'auget de la manière suivante :

« Après avoir fait dans le sol une tranchée de 55 à 60 cen-

timètres de profondeur, on y pose un rang de briques à plat, sur le bord desquelles on en place d'autres de champ ; on met une couche de *braise de boulanger* de l'épaisseur de 3 à 4 centimètres sur les briques du fond ; on pose le conducteur par-dessus ; on achève de remplir l'auget de braise, et on le ferme par un rang de briques. La tuile, la pierre ou le bois peuvent également être employés pour former l'auget. On a l'expérience que le fer, ainsi enveloppé de charbon, n'éprouve aucune altération dans l'espace de trente années. Mais le charbon n'a pas seulement l'avantage d'empêcher le fer de se rouiller dans la terre ; comme il conduit très-bien la matière électrique quand il a été rougi (et c'est pour cela que nous avons recommandé d'employer la braise de boulanger), il facilite l'écoulement de la foudre dans le sol.

« Le conducteur, sortant de l'auget dont on vient de parler, perce le mur du puits dans lequel il doit descendre et s'immerge dans l'eau de manière à y rester plongé de 65 centimètres au moins dans les plus basses eaux. Son extrémité se termine ordinairement par deux ou trois racines, pour faciliter l'écoulement de la matière électrique du conducteur dans l'eau. Si le puits est placé dans l'intérieur du bâtiment, on percera le mur de ce dernier au-dessous du sol, et l'on dirigera par l'ouverture qu'on aura faite le conducteur dans le puits.

« Lorsqu'on n'a pas de puits à sa disposition pour y faire descendre le conducteur du paratonnerre, on fait dans le sol, avec une tarière de 13 à 16 centimètres de diamètre, un trou de 3 à 5 mètres de profondeur ; on y fait descendre le conducteur en le tenant à égale distance de ses parois, et l'on remplit l'espace intermédiaire avec de la braise que l'on comprime autant que possible. Mais, lorsqu'on voudra ne rien épargner pour établir un paratonnerre, nous conseillerons de creuser un trou beaucoup plus large, au moins de 5 mètres de profondeur, à moins qu'on ne rencontre l'eau plus tôt, de

terminer l'extrémité du conducteur par plusieurs racines, de les envelopper de charbon si elles ne plongent pas dans l'eau et d'en entourer de même le conducteur au moyen d'un auget de bois que l'on emplira.

« Dans un terrain sec, comme, par exemple, dans un roc, on donnera à la tranchée qui doit recevoir le conducteur une longueur au moins double de celle qui a été indiquée pour un terrain ordinaire, et même davantage, s'il était possible d'arriver jusque dans un endroit humide. Si les localités ne permettent pas d'étendre la tranchée en longueur, on en fera d'autres transversales, dans lesquelles on placera de petites barres de fer entourées de braise, que l'on fera communiquer avec le conducteur. Dans tous les cas, l'extrémité de ce dernier doit s'enfoncer dans un large trou, s'y diviser en plusieurs racines et être recouvert de braise ou de charbon qui aura été rougi.

« En général, on doit faire les tranchées pour le conducteur dans l'endroit le plus humide autour du bâtiment, les placer par conséquent dans les lieux les plus bas, et diriger au-dessus les eaux pluviales, afin de les tenir dans un état plus constant d'humidité. On ne saurait trop prendre de précautions pour procurer à la foudre un prompt écoulement dans le sol, car c'est principalement de cette circonstance que dépend l'efficacité des paratonnerres. »

On ne voit pas bien là, tout d'abord, l'intention dont je parlais précédemment, de donner à l'électricité une surface de contact suffisante pour sa complète diffusion dans le sol; mais la dernière phrase est plus explicite, sans donner toutefois une indication quelconque des surfaces de contact qu'il convient d'offrir au libre écoulement de l'électricité. Pourquoi aussi ne pas prescrire l'emploi constant de ce procédé et non pas seulement dans le cas où les conducteurs présentent un long parcours en terre et quand l'eau manque ?

Il n'est pas dit, de plus, si le bâti en briques doit être cimenté ou non. Il ne doit pas l'être. S'il l'était, ce serait une cause d'isolement du câble dans la terre, malgré le contact de la braise ou du charbon rougi. Je pense que cette braise ou ce charbon n'ont été indiqués par les instructions que parce que le coke n'était alors que peu connu. Sa capacité conductrice n'était pas encore appréciée ni mesurée comme elle l'a été depuis qu'on s'en sert pour l'établissement des piles. Le coke est plus solide, plus poreux que le charbon, et je l'ai toujours préféré.

Je vais décrire maintenant mon système de mise à terre des conducteurs. Je dois dire de suite qu'avec ce système bien appliqué, je m'inquiète peu de savoir si leur enveloppe dans le sol est isolante ou non.

Une tranchée est creusée pour renfermer le conducteur. Quand elle circule dans les maçonneries, elle est faite ordinairement en pierre. Le fond de la tranchée doit, en ce cas, autant que possible, être garni de supports espacés, en pierre, en brique ou en charbon, destinés à tenir le câble suspendu au-dessus de la terre, où il se trouverait exposé, en y traînant, à une détérioration plus ou moins prompte.

Quand la tranchée passe dans un jardin, sous le pavé d'une rue ou le macadam d'une route, il faut tenir compte de ces circonstances et construire un canal assez solide et assez profondément enfoncé pour supporter les charges qui pourront le presser, ayant en outre une pente suffisante pour le rejet des eaux d'infiltration.

La tranchée canalisée qui traverse une route fréquentée par de lourdes voitures, doit être profonde et faite de matériaux solides et fortement agencés. Sous le pavé d'une rue de ville, elle doit être encore plus fortement construite, en prévision des travaux futurs de pavage. Dans un jardin, la solidité n'est plus nécessaire, mais la profondeur doit correspondre aux nécessités du jardinage. Sous un champ, toute

liberté existe. Dans tous les cas, il est utile de protéger le conducteur, comme l'indiquent les instructions et comme je vais le dire.

Pour moi, quand je n'ai pas à redouter de charges trop pesantes, je dispose les choses de la manière suivante (*fig.* 57).

Un canal fait de tuiles creuses est placé au fond de la tranchée, la face concave en dessus, et les tuiles se recouvrant un peu, à contre-pente, afin de faciliter l'écoulement des eaux d'infiltration. On y pose le conducteur sans rien de plus, si ce

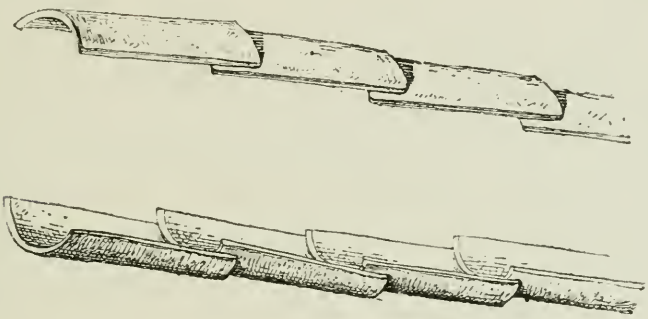


Fig. 57.

conducteur est en cuivre ; mais, au contraire, s'il est en fer et non galvanisé, en l'enveloppant de braise, de charbon rougi ou de coke. Le conducteur étant ainsi bien étendu, on recouvre le canal, dans les deux cas, d'une couverture faite de tuiles creuses pareilles, à face supérieure convexe, en commençant à poser ces tuiles par le bas et les faisant se recouvrir dans le sens de la pente, contrairement aux tuiles du canal inférieur. Entre le fond du canal et sa couverture, il reste un espace bien suffisant pour le conducteur et son charbon. On recouvre le tout de terre, et on l'abandonne. J'ai relevé des câbles de cuivre ainsi placés depuis longtemps, et les ai trouvés sans trace d'altération. Que si un coup de pioche venait à être donné dans un pareil canal, cette légère construction avertirait dès l'abord qu'il y a là un objet qu'on doit respecter, puis la réparation serait des plus faciles. Certains constructeurs pla-

cent tout simplement le conducteur en terre et le recouvrent. Je n'ai pas de confiance dans cette façon quelque peu élémentaire d'agir.

Si la tranchée suit un chemin sinueux dans son niveau, par suite de la présence de roches ou de toute autre cause, on place les tuiles en renversant leur ordre d'assemblage, de façon à faciliter l'écoulement des eaux d'infiltration vers l'endroit le plus bas, et l'on fait à cette place un puisard pour les absorber.

Lorsqu'on ne trouve pas d'eau en quantité suffisante pour rendre efficace la mise à terre, on y supplée par le trajet du câble en terre, que l'on entoure de braise de boulanger, de charbon ou de coke. On creuse alors la tranchée aussi profondément que possible, pour trouver la terre fraîche et une humidité constante s'il se peut. On garnit le fond d'un lit de charbon, sur lequel on étend le câble conducteur, puis on recouvre celui-ci d'un second lit de même charbon, et l'on recouvre le tout de terre.

Dans tout ce qui précède, il y a bien des répétitions, trop peut-être. Mais ne vaut-il pas mieux répéter des instructions utiles que d'en donner d'incomplètes ? C'est mon excuse.

CHAPITRE XIII.

MISE A TERRE.

Cette expression est de moi, en toute humilité. Personne, que je sache, n'a encore attaché à cette partie des paratonnerres l'extrême importance que je lui attribue. En prescrivant de la faire capable de communiquer à l'eau du sol toute l'électricité qui peut circuler dans la section d'un conducteur, j'en fais un appareil véritable, à fonction bien déterminée.

La terre, ai-je dit, est le foyer commun, le réservoir immense où viennent se combiner et s'équilibrer les décompositions partielles de l'électricité produites par la nature ou l'industrie. D'où la nécessité, pour annihiler le pouvoir des nuages électrisés, de conduire leur électricité dans le sol, ou plutôt de prendre à la terre le fluide complémentaire qui doit atténuer la force des nuées menaçantes. Pour cela faire, on mène, de la terre au nuage, une conduite électrique non interrompue, complète et homogène autant que possible.

J'insiste sur cette explication, car beaucoup de personnes, même instruites, croient que le paratonnerre attire la foudre. Un homme chargé d'établir un de ces instruments n'est-il pas venu naguère me demander une *pointe aimantée pour attirer le tonnerre et le jeter dans l'eau !* Pointe, flèche et conducteur, je me suis efforcé d'en faire connaître les meilleures dispositions, selon la science, et les moyens d'exécution préférables entre tous. Il me reste à dire comment jeter à

l'eau le tonnerre, comme disait mon homme ; et c'est là ce qu'on ne sait guère bien faire généralement, ce que je crois au contraire connaître à fond et pouvoir exécuter au mieux. Cette déclaration paraîtra sans doute présomptueuse ; mais je ne me donnerais pas la peine d'écrire ce livre si je n'avais la conviction de faire œuvre utile.

La première chose à rechercher pour une mise à terre, c'est un lieu toujours imprégné d'humidité terrestre. L'eau n'est pas le seul bon conducteur terrestre qui puisse être utilisé pour le même objet. Les terrains miniers renfermant du charbon, des métaux, des sels, le sont également et peuvent servir de mise à terre. Mais l'eau couvre les trois quarts de la surface de notre planète; on la trouve partout, et l'on peut dire d'elle que c'est un conducteur universel.

Il faut que l'eau dans laquelle plonge l'extrémité d'un conducteur de paratonnerre ne soit pas de peu d'étendue. La terre est composée de pierres, de sables, de rochers, qui, à l'état sec, sont parfaitement isolants. C'est l'eau abondamment répandue sur le sol ou dans le sol, et formant de la sorte une conduite immense et continue qu'il faut atteindre, mais non un réservoir naturel ou artificiel d'eau de pluie ou de ménage. Telle personne a cru bien faire en conduisant le conducteur de son paratonnerre dans le fond d'une petite cuve maçonnée et cimentée, servant de réceptacle aux eaux de pluie. Quel pouvait être l'effet de ce paratonnerre, surtout après trois mois de sécheresse ayant tari la cuve ? L'expérience suivante le dira.

Produisez au moyen d'une pile un effet électrique, et placez les pôles électriques chacun dans un vase d'eau. Un courant se produit-il ? Non certes, et le circuit est aussi interrompu que s'il n'existait pas d'eau. De même, rien ne sortira d'une citerne cimentée, à l'exception d'extra-courants dangereux, réagissant après le passage de l'électricité atmosphérique.

On a vu, lit-on dans le *Traité de physique* de Daguin (ch. II, p. 234), la foudre causer de grands dégâts à des édifices

armés de paratonnerres dont le conducteur se terminait dans une citerne étanche ; le ciment et la maçonnerie empêchant la diffusion de l'électricité.

Les rivières, les puits, sont excellents pour une mise à terre. Quand on n'en a pas à sa proximité, il suffit souvent d'une étude du sol pour découvrir un lieu où l'on en pourra trouver. Je ne possède pas la science de l'abbé Paramelle et de l'abbé Dubois, aussi ne dirai-je rien de cette question. Mais je répète qu'il faut absolument chercher pour la mise à terre un emplacement où l'eau afflue, fontaine, source ou ruisseau, et ne tarisse jamais. Si cette recherche devait causer des dépenses excessives, on pourrait se contenter d'un trou en terre humide, pareille à celle où l'on voit sourdre l'eau en creusant, mais il faudrait s'assurer de la persistance de cette humidité en toute saison.

Fig. 58.

Pour ce qui est des dispositions de la mise à terre, j'ai cité les instructions. La *fig.* 58 est donnée par M. Viollet-Leduc. On fait quelquefois un grappin armé de pointes. J'ai vu une disposition intelligente assez simple, qui réalisait en partie mes intentions. C'était une sorte de herse en fonte de fer, jetée au fond du puits et à laquelle était attaché le bout du conducteur (*fig.* 59). Les nombreuses pointes de fer dont elle était armée et la pièce elle-même présentaient ensemble une assez grande surface.

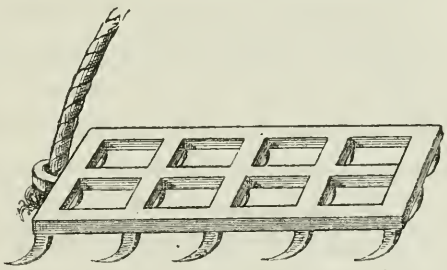


Fig. 59.

Voici le détail de l'expérience de M. Perrot sur cet objet. (Académie des sciences, séance du 2 mars 1863.)

« Le conducteur du paratonnerre ordinaire présente à l'eau du sol dans laquelle il est plongé, une surface de contact

tellement insuffisante pour le prompt écoulement de l'électricité d'un coup de foudre, que ce paratonnerre ne peut être foudroyé sans que son conducteur foudroie en même temps les objets les plus rapprochés. La surface immergée du conducteur du paratonnerre ordinaire, excessivement trop petite dans le cas précédent, est cependant assez grande pour livrer passage à un courant constant d'électricité capable de neutraliser l'électricité contraire du nuage orageux qui s'approche. Il suffit donc, ainsi que le pensent M. Babinet et M. Gavarret, pour mettre le paratonnerre à l'abri des coups foudroyants, toujours dangereux pour les corps voisins du conducteur, d'armer la tige de ce paratonnerre de pointes longues, divergentes, nombreuses, effilées et très-conductrices.

« Avant de décrire les expériences, je crois devoir rappeler que l'instruction sur les paratonnerres dit avec raison (sauf ce qui regarde la direction de l'électricité) : « On ne saurait prendre trop de précautions pour procurer à la foudre un prompt écoulement dans le sol, car c'est de *cette circonstance* que dépend l'efficacité des paratonnerres. » Mais *cette circonstance* essentielle ne me paraît pas exister dans les paratonnerres ordinaires. En effet, il résulte des belles expériences de M. Pouillet et de M. Ed. Becquerel, que l'eau pure conduit l'électricité 6754 millions de fois moins que le cuivre. Il me semble résulter de là que l'écoulement de l'électricité entre l'eau du sol et le conducteur ne peut avoir lieu aussi facilement que dans le conducteur même, à moins que cette eau ne présente au conducteur une surface de contact 6754 millions de fois plus grande que la section de ce conducteur. En supposant que la section du conducteur soit de 1 centimètre carré, la partie immergée de ce conducteur devrait donc offrir à l'eau du sol une surface de 675400 mètres carrés, qu'en raison de la plus grande conductibilité de l'eau des puits et de plusieurs autres causes qu'il serait trop long d'énumérer ici, nous supposerons seulement de 1000 mètres carrés.

Mais la surface immergée dans l'eau du sol n'atteint guère qu'un *dixième de mètre carré* dans les paratonnerres ordinaires.

« Il me semble donc rationnel d'en conclure :

« 1° Que la surface immergée du câble du paratonnerre ordinaire qui reçoit le coup de foudre est environ dix mille fois moindre qu'elle ne devrait être ;

« 2° Que cette surface présente au passage de l'électricité une *résistance* dix mille fois environ plus considérable que la tige même du conducteur ;

« 3° Et enfin, que lorsque le paratonnerre ordinaire est foudroyé, il existe sur son conducteur une *tension* électrique proportionnelle à cette *résistance*, *tension* qui le rend foudroyant pour les corps les plus voisins. Voici quelques expériences nouvelles qui viennent à l'appui de ces déductions.

« Après avoir placé l'extrémité d'une tige représentant un paratonnerre, à distance explosive du conducteur d'une machine électrique en communication avec l'armature intérieure d'une bouteille de Leyde, j'ai plongé l'autre extrémité de cette tige dans l'eau d'un vase métallique communiquant avec l'armature extérieure de la bouteille et avec le sol. Cette tige, posée sur un support isolant, ne permettait pas à une des électricités de venir neutraliser l'autre sans passer à travers l'eau. La machine étant mise en action jusqu'à décharge spontanée, j'ai reconnu que l'eau était foudroyée à distance par le conducteur. En effet, au lieu de traverser l'eau sans lumière et sans éclat, l'électricité formait à la surface du liquide une étoile brillante dont les rayons aboutissant au conducteur immergé avaient souvent une longueur triple de celle de l'étincelle foudroyante partie de la machine. Voulant constater la tension électrique à divers points de la longueur de la tige, et, par suite, le danger que présente le voisinage d'un paratonnerre foudroyé, j'ai approché une sphère métallique de

ces différents points ; la sphère a été foudroyée à une distance variant du quart au triple de la longueur de l'étincelle foudroyante de la machine. »

C'est le sujet aussi de la note que j'ai présentée à l'Académie des sciences et qui est citée à la fin de cet ouvrage. Elle était antérieure de six mois à celle de M. Perrot, dont les belles expériences sont venues confirmer mes considérations. M. Becquerel est, parmi les auteurs que j'ai consultés, le seul qui prescrive des précautions pour la mise à terre, afin d'augmenter les surfaces en contact avec l'eau (t. I, ch. III) : « Il importe que ces puits soient éloignés les uns des autres ; il importe pareillement que les conducteurs qui viennent y perdre la foudre se trouvent en contact avec le liquide par de grandes surfaces, soit qu'on les y ramifie de différentes manières, soit qu'on y soude des feuilles larges et épaisses de tôle étamée, de zinc ou de cuivre. »

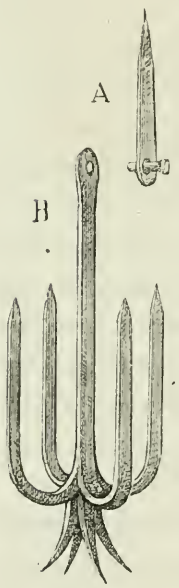


Fig. 60.

M. Perrot signalait, dans sa communication, le vice de presque tous les paratonnerres ; je crois y avoir remédié et avoir trouvé le moyen le plus simple et le moins coûteux pour cela.

On fait un grappin en fer galvanisé. A ce grappin est fixée, par un boulon fortement serré, une pièce de raccord A (*fig.* 60). On détord les torons du câble, puis les fils, pour en envelopper la pièce de raccord, laquelle a été démontée pour faciliter son attache avec les fils du câble. On relie ces fils par-dessus et l'on soude le tout à l'étain.

Le grappin B, que chacun peut disposer à sa façon, est formé de manière à faire sortir d'un tronc B, sur le haut duquel se trouve ajusté le boulon de la pièce de raccord, quatre bras relevés et quatre racines pendantes. Cette pièce

peut être grossièrement faite de fer feuillard assemblé et soudé à la forge, mais galvanisée tout entière.

Dans une sorte de panier de vannerie grossière, ou mieux encore de fil de fer grillagé et galvanisé (*fig.* 61), se place le grappin, dont on laisse passer les racines à travers le fond, ce qui n'est pas cependant de toute nécessité; puis on remplit le panier de coke, en prenant soin d'en entasser les morceaux entre les bras du grappin et de façon qu'il en soit pressé de toutes parts; et l'on recouvre ensuite le panier rempli, avec un couvercle qu'on attache solidement par le bord. La pièce de raccord soudée à l'extrémité du câble est reliée alors au bout du grappin dépassant le couvercle, par un solide boulon bien serré à fond, et il ne reste plus qu'à descendre dans l'eau le panier avec son contenu. Cela fait, si la loge du panier n'est pas employée à d'autre usage, on la comble de terre ou, mieux encore, de coke, et on la ferme soigneusement pour tout mettre à l'abri des accidents. Si la mise à terre est faite dans une rivière, un étang, un ruisseau ou la mer, on la met à l'abri, ainsi que le bout de câble qui y aboutit, en la couvrant de vase, de sable, d'une matière protectrice quelconque. Quand le câble d'un paratonnerre aboutit à la mer, on peut être certain de la quantité et de la qualité conductrice d'électricité du liquide, mais il faut que le panier soit enfoui à marée basse, dans le sable ou la vase, et assez profondément pour atteindre un point d'où les eaux ne se retirent plus. Pour terminer la mise à terre, il suffit ensuite de remplir l'excavation, par-dessus le panier, de sable, de vase, de goëmon, de galets, de tout ce qu'on a sous la main.

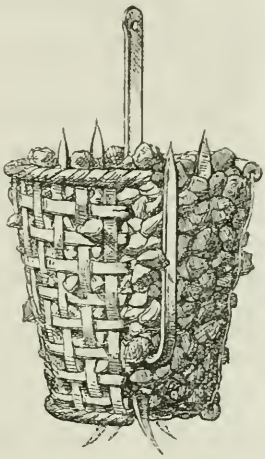


Fig. 61.

Dans le sol meuble, il est toujours facile de creuser un trou

assez profond pour y enfouir le panier. Dans le sous-sol crayeux de Paris et des environs, cette besogne est plus difficile mais encore possible. Elle est souvent impraticable en Bretagne, en Franche-Comté, et dans tous les pays où le sous-sol est formé de gneiss, de granites, de roches dures quelconques. Il ne faut pas craindre alors d'allonger les conducteurs de paratonnerres dans des tranchées, jusqu'à ce que l'on ait trouvé une place convenable dans les inégalités du rocher.

Avant de créer mon système, je me suis demandé si les racines des conducteurs de paratonnerres, établies d'après les instructions, ne suffisaient pas à rejeter en terre l'électricité complémentaire du fluide céleste, les pointes de ces racines faisant ensemble parité avec la pointe ou les pointes dardant les nues. Cela se peut, car il existe des paratonnerres armés de la sorte qui fonctionnent bien; mais, en cas de coup de foudre, suffiraient-ils à rejeter en terre le flux d'électricité apporté ainsi violemment? Une personne touchant à un paratonnerre serait-elle alors en sécurité? Je n'hésite pas à dire : non; car, dans le premier cas, celui d'écoulement régulier, si ces racines peuvent suffire, dans le second cas, où l'électricité remplit le câble et s'y trouve en réalité comprimée, il faut qu'il existe, entre la pièce formant l'extrémité du câble et l'eau terrestre, une surface électrique équivalente à la conductibilité de la section du câble, sous peine de danger pour les personnes voisines. Pour qu'une pointe de conducteur soit efficacement active, il faut qu'aucune pression électrique ne s'exerce exclusivement sur une partie de ce conducteur. S'il existe des pointes également actives aux deux extrémités, c'est au milieu de la longueur du conducteur que se trouvera le maximum de tension. Si l'une des extrémités du conducteur présente une grande surface capable de recevoir l'un des fluides électriques, le fluide de nom contraire affluera à la pointe placée à l'autre extrémité du conducteur, et quand

l'électricité céleste chargera le paratonnerre, la tension y sera d'autant plus faible que seront plus grandes les surfaces de contact existantes. Elle sera puissante et dangereuse, au contraire, si, dans la mise à terre, au lieu de surfaces de contact avec le sol humide elle n'a que des pointes, car celles-ci ne conviennent qu'à un lent écoulement; et c'est pour cela que les auteurs recommandent d'entourer les conducteurs avec de la braise dans leur parcours en terre. Alors, n'ayant pour mise à terre que des pointes, le paratonnerre chargé d'électricité orageuse dans toute sa longueur peut devenir foudroyant, comme le prouvent les expériences de M. Perrot.

Je pense que mon système de mise à terre suffit à tout. En faisant les pointes du grappin bien aiguës, elles joindraient l'avantage de leur action à celui déjà obtenu, et l'on éviterait ainsi, dans le reste du paratonnerre, toute tension dangereuse, même en cas de coup de foudre.

J'ai voulu me rendre compte approximativement, par le calcul, de la surface que peut présenter au contact de l'eau la quantité de coke remplissant mes paniers. Chacun d'eux doit en contenir au moins un hectolitre, cassé menu. Chaque morceau de moyenne grosseur cubant 30 centimètres environ, un litre en renferme 33 et l'hectolitre 3,333. La superficie de chaque morceau est de 80 centimètres carrés et même de 100, en tenant compte des irrégularités de la surface ; mais comme ces irrégularités causent des vides entre les morceaux, il convient de s'en tenir au chiffre précédent. La spongiosité du coke établit aussi des surfaces de contact entre l'eau et la masse intérieure des morceaux. L'expérience suivante, que j'ai faite, indique le moyen d'en déterminer l'étendue.

J'ai mis dans l'eau un morceau de coke sec, du poids de 35 grammes; il surnageait. Je l'ai retiré de suite et pesé de nouveau : il avait absorbé 2 grammes 5 d'eau. Après vingt-quatre heures d'immersion, le même morceau ne surnageait plus sur l'eau, mais tombait au fond du vase. Son poids était

alors de 45 grammes, dont 10 grammes d'eau absorbée, soit quatre fois plus que précédemment, c'est-à-dire quatre fois l'absorption superficielle. Ce qui permet de supposer un contact intérieur quadruple de la surface extérieure de chaque morceau. Cette surface étant de 80 centimètres carrés, la surface totale de contact se trouve être de $80 \times 4 = 320$ centimètres carrés, plus les 80 centimètres de la surface $= 400$ centimètres carrés.

Avant cette expérience, j'avais écrit (*Note à l'Académie sur les Paratonnerres*) que la surface que le charbon présentait à l'eau était presque infinie. C'était exagéré. Cependant, bien que je pense que le contact intérieur du coke avec l'eau puisse être plus considérable qu'il ne l'était lors de mon expérience, toujours est-il que la surface de contact fournie par les 3,333 morceaux donne un total de plus de 133 mètres carrés. Il y a loin de là aux 700 mètres carrés indiqués par moi dans la note en question, et aux 1,000 mètres carrés indiqués par M. Perrot, pour que la mise à terre ait 7 milliards de fois en surface la section du conducteur. Mais j'ai déjà dit que cette quantité était inutile dans les circonstances ordinaires. Elle serait nécessaire, au contraire, si l'eau était pure. L'eau distillée, en effet, n'a pour coëfficient de conductibilité que 0.0015, tandis que celle contenant un vingt-millième seulement d'acide nitrique a un coëfficient de 0.0150, c'est-à-dire dix fois plus fort. Mais, on le sait, les eaux ne sont jamais chimiquement pures. Si l'on suppose que les sels contenus dans les eaux de puits, de rivière ou de source, où plonge la mise à terre d'un paratonnerre, possèdent un pouvoir conducteur décuple de celui de l'eau distillée, comme donne à celle-ci la présence d'un vingt-millième d'acide nitrique, les désiderata de M. Perrot sont largement remplis. Si l'on compte, de plus, que les coëfficients de conductibilité, chiffrés ci dessus, augmentent de 0.0025 par degré, à partir de 0°, température à laquelle ils se rapportent, on arrive pour le temps des orages, en été,

sous une température toujours très-élevée, avec mon système de mise à terre, à des contacts superficiels de conductibilité électrique bien supérieurs à toutes les exigences. Mais ce ne sont là que des calculs par à peu près, basés sur de pures hypothèses, et finalement les surfaces de contact ne sauraient être jamais trop grandes.

En prenant leçon de tout ce que je viens de dire, il devient facile de fixer les dimensions des paniers et des grappins.

Le *panier*, ou toute autre enveloppe du grappin, *devra contenir un hectolitre de coke cassé menu par centimètre carré de section du câble conducteur en cuivre rouge*, pris comme unité d'après les indications que j'ai données en traitant des conducteurs. Un câble trop petit ne saurait entraîner la diminution outre mesure des dimensions de la mise à terre; de même un câble trop gros ne pourrait les faire augmenter utilement. C'est le point juste qu'il faut savoir trouver, en ceci comme en tout.

CHAPITRE XIV.

PARATONNERRES POUR LES CHEMINÉES D'USINES.

Dans la nuit du 5 au 6 juin dernier (1874), un violent orage s'est déchaîné sur la ville de Nantes. La foudre a frappé plusieurs constructions, entre autres une haute cheminée d'usine appartenant à la fonderie de fer de M. Voruz, dans la Prairie-au-Duc.

Je suis surpris de ne pas voir les cheminées d'usines pourvues de paratonnerres. Quelques personnes intéressées, à qui j'en ai parlé, m'ont répondu par cette sempiternelle rengaine : que les paratonnerres attirent la foudre.

Le fait que je viens de citer démontre, non pas que les paratonnerres attirent la foudre, mais que les hautes cheminées qui en sont dépourvues peuvent être frappées et détruites par elle. Et cela s'explique aisément, car le carbone, qui, sous forme de suie, tapisse l'intérieur des cheminées, est un corps conducteur de l'électricité, comme le montre notre tableau de la capacité conductrice des diverses substances (page 26). Il tient le milieu entre les métaux et les corps isolants. Le passage de l'électricité étant facilité par cette voie, on conçoit que le fluide céleste recherche en quelque sorte les hautes cheminées, de préférence aux autres constructions non pourvues de paratonnerres. Mais cette suie n'étant pas un conducteur suffisant pour l'électricité à haute tension qui peut, à un moment donné, en temps d'orage, se

trouver accumulée dans la cheminée, on comprend qu'il en puisse résulter une explosion de la foudre et la destruction plus ou moins complète de la cheminée. De même que la vapeur comprimée dans un vase clos, l'électricité accumulée dans un corps conducteur en peut faire éclater plus ou moins violemment les parois, selon les circonstances.

A l'appui de cette démonstration, remarquons encore que lorsque des maisons d'habitation sont frappées par la foudre, c'est presque toujours sur les cheminées qu'elle vient s'abattre, quoique ces cheminées n'en soient pas toujours le point le plus élevé. C'est par les cheminées que le feu céleste fait son chemin, quand il pénètre dans les maisons.

Des cheminées ainsi foudroyées portent des marques apparentes d'explosion ; celles du moins où j'ai pu en observer les effets.

Nous ne pouvons donc que recommander aux industriels qui possèdent de hautes cheminées, de les armer d'appareils de préservation contre le feu du ciel; car, en outre des dégâts matériels, garantis plus ou moins par les compagnies d'assurances, il est une grave question qui les doit intéresser plus particulièrement : la préservation de la vie humaine. Que de fois, en effet, les journaux ne nous ont-ils pas entretenus de catastrophes causées par la chute de hautes cheminées d'usines ! Dans l'événement tout nouveau que nous venons de citer, les briques de la cheminée sont tombées par masses et d'une grande hauteur sur les toits de l'usine, qu'elles ont effondrés. On frémit à l'idée des malheurs qui seraient arrivés si l'orage eût éclaté pendant le jour, en un moment où les nombreux ouvriers de cette usine se trouvaient à l'ouvrage.

L'établissement de ces paratonnerres devrait se faire en même temps que la construction des cheminées, qui s'exécute, comme on sait, sans échafaudages. Dans un chapitre précédent, nous avons indiqué la forme qu'il convient de donner aux flèches de ces paratonnerres et la manière de les fixer.

Leurs conducteurs doivent être établis d'après les indications précédemment décrites, au chapitre qui s'y rapporte, et les supports ou guides de ces conducteurs simplement scellés dans la maçonnerie, laquelle est isolante. Les conducteurs doivent descendre à l'extérieur des cheminées, mais quand celles-ci sont déjà bâties lorsqu'on y veut placer les paratonnerres, il devient nécessaire de faire passer les conducteurs à l'intérieur. Dans les cheminées d'usines se trouve habituellement une échelle de service en fer, formée d'échelons peu distants l'un de l'autre et scellés dans la maçonnerie. Cette échelle rend facile la pose après coup des flèches de paratonnerres et de leurs conducteurs. La détérioration des câbles par les fumées de charbon n'est pas à craindre ; mais si les cheminées rejetaient en même temps des gaz ammoniacaux ou des vapeurs acides, il faudrait avoir recours aux procédés de préservation que nous avons décrits. Si l'on craignait que les flammes ne détruisissent les câbles placés dans les cheminées, il faudrait nécessairement les faire passer à l'extérieur, au moins dans la hauteur où peut s'exercer l'action destructive des flammes.

CHAPITRE XV.

PARATONNERRES POUR LES POUDRIERES.

Instructions de Gay-Lussac :

« La construction des paratonnerres pour les magasins à poudre et les poudrières ne diffère pas essentiellement de celle qui a été décrite comme type pour toute espèce de bâtiment; on doit seulement redoubler d'attention pour éviter la plus légère solution de continuité, et ne rien épargner pour établir entre la tige du paratonnerre et le sol la communication la plus intime. Toute solution de continuité donnant lieu, en effet, à une étincelle, le pulvérin qui voltige et se dépose partout dans l'intérieur et même à l'extérieur de ces bâtiments, serait enflammé et pourrait propager son inflammation jusqu'à la poudre. C'est par ce motif qu'il serait très-prudent de ne pas placer les tiges sur les bâtiments mêmes, mais bien sur des mâts qui en seraient éloignés de 2 à 3 mètres. Il sera suffisant de donner aux tiges 2 mètres de longueur; mais on donnera aux mâts une hauteur telle, qu'avec leurs tiges ils dominent les bâtiments au moins de 4 à 5 mètres. On fera aussi très-bien de multiplier les paratonnerres plus qu'on ne le ferait partout ailleurs, car ici les accidents sont des plus funestes. Si le magasin était très-élevé, comme par exemple une tour, les mâts seraient d'une construction difficile et dispendieuse pour leur donner la solidité : on se contenterait dans ce cas d'armer le bâtiment d'un double conducteur, sans

tige de paratonnerre, qu'on pourrait faire en cuivre. Ce conducteur, n'étendant pas son influence au delà du bâtiment, ne pourrait attirer la foudre de loin, et il aurait cependant l'avantage de garantir le bâtiment de ses atteintes s'il en était frappé ; de sorte que ceux-là mêmes qui rejettent les paratonnerres, parce qu'ils croient qu'ils déterminent la foudre à tomber sur un bâtiment qu'elle eût épargné sans eux, ne pourraient faire aucune objection fondée contre la disposition qui vient d'être indiquée. On pourrait armer d'une manière semblable un magasin ordinaire ou tout autre bâtiment. A défaut de paratonnerres, des arbres élevés, disposés autour des bâtiments à 5 ou 6 mètres de leurs faces, les défendent efficacement de la chute de la foudre. »

Je repousse ce système, qui consiste à établir des paratonnerres sans flèche, parce qu'il n'est pas rationnel. Ne voit-on pas que rien n'empêcherait le ruban de feu de sillonner l'édifice à côté des conducteurs, si aucune pointe élevée ne s'en emparait et ne le dirigeait. Il semblerait que la disposition indiquée est une satisfaction offerte aux personnes qui croient que les paratonnerres attirent la foudre ; mais puisque la théorie se refuse à cette supposition, je ne vois aucune raison d'y faire une concession quelconque,

Je ne comprends pas pourquoi les instructions, au lieu de prescrire pour les poudrières les précautions les plus grandes, consentent en quelque sorte à les désarmer de leurs flèches. Pour moi, je conseillerais, au contraire, un surcroît de précautions ; l'exagération, s'il est possible, des dispositions indiquées : des pointes multiples, des flèches nombreuses, une adhérence absolue, augmentée au besoin par la soudure entre elles de toutes les pièces de la conduite, et une *mise à terre* à grande surface atteignant à tout prix une eau souterraine et centrale. C'est cette adhérence absolue, que j'ai recommandée dans tous le cours de cet ouvrage, entre toutes les pièces composant un paratonnerre, que je recommande

encore plus particulièrement; car ici la plus légère interruption donnant naissance à des chocs, à des étincelles électriques, peut non-seulement nuire aux personnes directement soumises à ces effets, mais enflammer les poudres et causer des désastres. Toute réunion des parties d'un paratonnerre, sous forme d'anneaux, par exemple, ou sous une forme quelconque susceptible de laisser entre ces parties un vide où l'oxydation puisse se produire, doit donc être absolument rejetée.

Le conseil d'établir des flèches indépendantes des bâtiments semble bon. Cependant je me suis vu un jour, dans ma demeure et placé à 50 mètres d'un paratonnerre dont la hauteur me protégeait, lors d'un coup de foudre, enveloppé d'étincelles de feu circulant autour de moi. De semblables étincelles couraient-elles également dans le bâtiment même qui portait la flèche du paratonnerre? Je l'ignore; je ne le crois pas. L'avis est excellent, en tout cas, pour les constructeurs de paratonnerres chargés d'en établir sur des poudrières ou sur d'autres bâtiments contenant des matières explosibles ou même simplement combustibles (1).

1. Les effets de la foudre sont toujours si bizarres qu'ils déjouent tous les calculs et toutes les prévisions. En 1850, au printemps, par un violent orage, la foudre s'abattit sur la poudrière de Rocroy, pourvu d'un paratonnerre dont la chaîne était rompue. Le feu céleste pénétra sous la toiture qui fut violemment enlevée, et ses débris dispersés de tous côtés; il n'y eut heureusement pas d'autre dégât, car la poudrière, de construction moderne, possédait double muraille et double toiture; le feu s'écoulât dans le sol, soit en retrouvant le reste du conducteur du paratonnerre, soit par les chéneaux, gouttières et tuyaux de descente des eaux pluviales.

Comment se peut-il faire que des paratonnerres posés sur une poudrière restent dans un état aussi désastreux, et que toute une ville soit ainsi exposée aux dangers épouvantables d'une explosion?

Pourquoi n'existe-t-il pas au ministère de la guerre un service d'inspection des paratonnerres?

CHAPITRE XVI.

PARATONNERRES POUR LES NAVIRES.

Si l'on considère qu'un navire, seul point élevé sur la surface unie des mers, se présente aux nues électrisées comme un conducteur obligé; que la position verticale de l'homme le désigne également, en quelque sorte, au feu du ciel; que les mâts du navire, ses voiles, ses vergues, ses agrès mouillés, suspendent au-dessus de l'homme foulant le pont du navire, l'électricité foudroyante, tandis que les pieds de cet homme touchant le pont humide forment un trait d'union entre la mer et le ciel orageux; on comprend que les orages soient souvent mortels sur les navires. C'est à la suite de décès nombreux survenus de cette manière, que les amiraux français et anglais décidèrent que tout navire de l'état devait être pourvu d'au moins un paratonnerre.

Voici le chapitre des instructions sur ce sujet :

« Pour un vaisseau, la tige du paratonnerre se réduit à la partie de cuivre qui a été décrite pour le paratonnerre type. Cette tige est vissée sur une verge de fer ronde, qui entre dans l'extrémité de la flèche du mât de perroquet et qui porte une girouette. Une barre de fer, liée au pied de la verge, descend le long de la flèche et se termine par un crochet ou anneau, auquel s'attache le conducteur du paratonnerre, qui est ici une corde métallique; celle-ci est maintenue de distance en distance à un cordage, et, après avoir passé dans un anneau

fixé au porte-hauban, elle se réunit à une barre ou plaque de métal qui communique avec le doublage de cuivre du vaisseau. Sur les bâtiments de peu de longueur, on n'établit ordinairement qu'un paratonnerre au grand mât; sur les autres, on en met un second au mât de misaine. »

Telle est l'installation faite aux navires de guerre français, ainsi du moins que l'ont vue en leur temps ceux qui ont écrit les lignes qui précèdent, car à chaque bâtiment nouveau, le paratonnerre, comme les autres pièces, est souvent modifié. Les paratonnerres établis selon cette description ne me semblent pas devoir être suffisamment protecteurs. C'est le système adopté pour les navires de commerce, ceux du moins que j'ai visités. Il est réprésenté figure 62.

Le système usité dans la marine anglaise, et qui est dû à M. Harris, consiste à couvrir les mâts portant paratonnerre, de plaques de cuivre clouées et faisant ensemble une conduite continue, qui se poursuit par-dessous les ponts et va

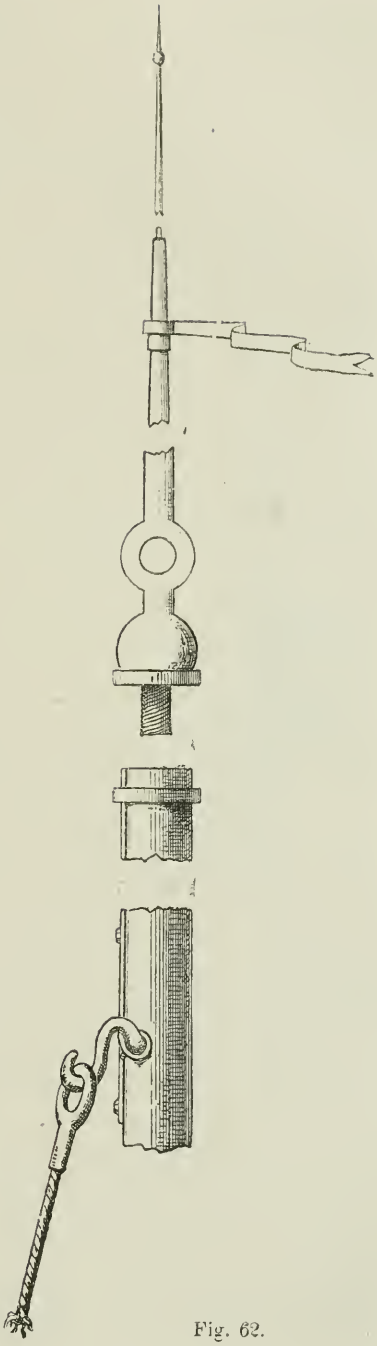


Fig. 62.

rejoindre dans la cale un boulon de cuivre le reliant au doublage.

Les instructions indiquent un crochet fixé sur le mât qui porte la flèche et auquel on accroche l'extrémité du câble en temps d'orage. Le matelot chargé d'aller fixer le câble au haut du mât peut être frappé de la foudre; cela même arrive souvent, mais il n'y a jamais eu, que je sache, pendant cette opération, de secousse mortelle. C'est là, néanmoins, un grave inconvénient. Pendant un combat, une tempête, on peut l'oublier. D'ailleurs, en mer, l'électricité apparaît souvent subitement, surtout dans les *grains blancs*. En supposant que ce travail d'attache du câble soit fait toujours à temps, le contact qui en résulte est-il suffisant? Non certes; et chaque coup de foudre produit une étincelle en cet endroit : donc, pression électrique dans l'ensemble, et par conséquent danger pour les personnes. Cependant cette disposition est habituelle aux marins.

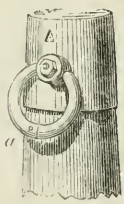


Fig. 63.

On est obligé de *dépasser* parfois le mât de perroquet, et pour cela il faut détacher le câble. C'est ce qui a fait adopter l'emploi du crochet, dans l'établissement des paratonnerres. Quand le bout inférieur du câble est fixé à la *carlingue*, le bout supérieur doit être facilement démontable, et *vice-versa*.

Aujourd'hui, on ne fait plus de crochet. On ajuste sur la douille de cuivre qui termine le mât, un cercle articulé et boulonné, remplaçant le crochet, et qu'on nomme crapaud (*fig.* 63). Le mot n'est pas poétique, mais il n'est pas de moi.

Ce crapaud peut être retiré et replacé facilement au moyen d'un écrou servant de nœud à la charnière A et fixé à l'extrémité d'un bouton traversant le mât. Cela est nécessaire pour *dépasser* le mât, qui ne passerait point par le *chouque* avec le paratonnerre. On ouvre cet anneau en retirant la cheville *a* qui en réunit les deux parties ; on passe l'œil du câble, et on referme l'anneau en replaçant la cheville.

Cette disposition présente plus de sécurité qu'un simple crochet, mais elle ne donne pas à l'attache du câble la surface ni la pression nécessaires pour bien assurer un contact suffisant, et je la rejette pour cette raison. D'autres font leur attache plus simplement en passant l'œil du câble dans la flèche, ce qui expose celle-ci à être ébranlée et fait un mauvais contact.

Voici ce que je fais (*fig.* 64) : au-dessus de la tête du mât se place une douille en cuivre ou en fer, de préférence en cuivre ; elle y est boulonnée. Dans la partie supérieure de cette douille est ajustée et soudée ou brasée la portion de flèche en cuivre ou en fer attenante à l'embase, comme à la figure 10; puis viennent la vis et l'écrou servant à serrer l'œil qui fait l'extrémité du câble. On doit faire ici cet œil suffisamment ouvert pour faciliter le démontage et le remontage du câble en déserrant l'écrou. Au-dessus de l'écrou est une tige taraudée sur laquelle se visse la flèche ci-dessus désignée.

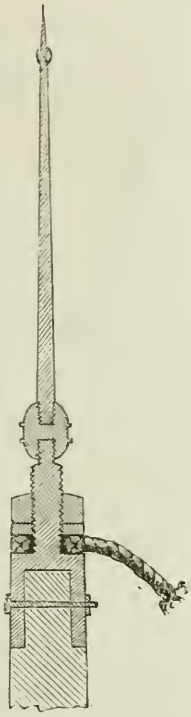


Fig. 64.

Pour les paratonnerres de navires, les dimensions données aux flèches ordinaires en fer sont trop étendues. Je n'en peux donner ici des dimensions bien déterminées, car la douille doit-être ajustée sur la tête du mât et disposée selon sa grosseur, variable selon les dimensions des navires.

Toute cette partie des flèches doit être de préférence en cuivre. En choisissant du laiton ou du bronze, on aboutit à une moindre dépense qu'en prenant du fer, dont le travail, en raison de sa dureté, coûte plus cher que ne produit l'économie réalisable par la différence de prix des métaux. De

plus, le cuivre est moins altérable à la mer; il ne l'est même pas, à cause des précautions et des soins dont les marins ont l'habitude.

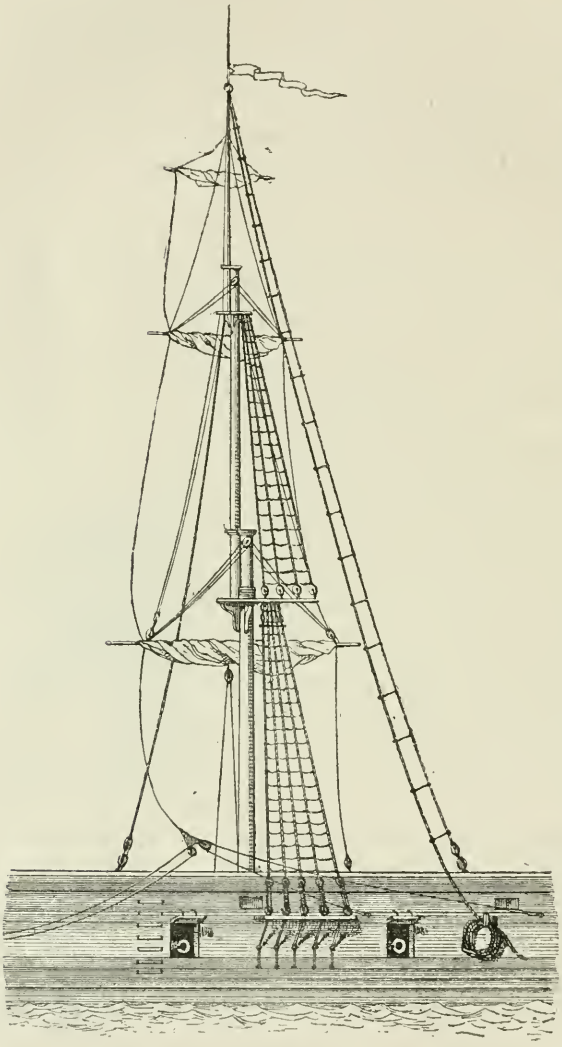


Fig. 65.

Voici maintenant comment on dispose les autres parties des paratonnerres, dans les navires de commerce français (*fig.* 65.) Le câble est fixé à la flèche, comme il a été dit, par un crochet ou un crapaud; il descend le long d'un gal'hauban, en passant dans des anneaux de verre fixés à ce cordage; il est ensuite accroché dans les porte-haubans du navire, au dehors; le reste de la longueur du câble est lové et lié avec un filin. En temps d'orage, on le détache, on le déroule; puis, le faisant passer dans un anneau fixé à un arc-boutant qui l'écarte du bord, on jette son extrémité à la mer. Cet arc-boutant est nécessaire pour empêcher que pendant les temps d'inclinaison

du navire le câble ne vienne toucher aux préceintes. On a vu, dans un cas semblable, le doublage du navire violemment détaché ou détérioré par un coup de foudre.

Cela me semble défectueux. D'abord, m'en rapportant aux conditions essentielles de la mise à terre des paratonnerres de terre ferme, je reproche au bout de câble traînant dans l'eau de ne pas offrir un surface suffisante pour la diffusion rapide des grandes quantités d'électricité puisées par la pointe dans les nuées peu distantes. Quand le navire est animé d'une grande vitesse, le bout du câble traine sur l'eau en s'éloignant de sa verticale, et, par suite du ressaut des vagues, se trouve le plus souvent hors de l'eau, ce qui est un danger évident parce qu'en produisant des alternatives de contact et d'isolement, il distribue l'électricité par saccades, comme peut le faire une bobine d'induction, c'est-à-dire en multipliant la force des chocs. Un poids de 5 à 10 kilog. ajouté au bout du câble, remédierait à cet inconvénient, en maintenant le conducteur en communication continuelle avec la mer, tout en augmentant la surface de contact. Ensuite, le marin qui prend le bout du câble pour le délier et le jeter à la mer, peut être frappé par la foudre, comme j'ai déjà dit; et c'est ainsi qu'un capitaine de ma connaissance, qui fut renversé par un violent choc électrique, dans une circonstance analogue, ne voulut plus de paratonnerre sur son navire. Chat échaudé craint l'eau froide, dit le proverbe. Il est à regretter, toutefois, qu'un paratonnerre mal fait fasse rejeter toute protection de ce genre, cependant si nécessaire.

Je rejette donc et le câble accroché au mât, et la disposition qui consiste à garder l'extrémité inférieure de ce câble hors de contact avec l'eau, en temps calme.

Dans les tempêtes de vent, qui précèdent surtout les orages ou qui règnent pendant leur durée, il devient nécessaire d'abaisser les hauts mâts, de *dépasser* le mât de perroquet et souvent même de caler le mât de hune ou de le descendre

sur le pont. Il faut tenir compte de ces exigences dans la disposition des paratonnerres de navires. Quand on doit *dépasser* le mât de perroquet, la disposition que j'ai indiquée n'oblige pas à démonter le paratonnerre, puisque le haut du câble est attaché au centre de la flèche et qu'il ne saurait empêcher le passage dans le trou de chouque. La disposition aujourd'hui en usage oblige à démonter le crapaud, qui, sur le côté du mât, l'empêcherait de passer ; on le replace ensuite, il est vrai, mais on peut l'oublier, ce qui crée un danger possible qu'on prévient avec la disposition nouvelle que j'indique, et avec laquelle on supprime, de plus, un travail parfois dangereux, comme je l'ai dit précédemment.

Quant à la *mise à mer*, je préfère toujours l'attache au doublage citée dans les instructions.

Plusieurs armateurs de France, ne veulent pas admettre l'emploi du doublage pour former le contact du paratonnerre avec la mer, craignant qu'une action électrique ne nuise à sa conservation. Je puis leur affirmer que cette crainte est vaine, et qu'il n'y a d'action électrique qu'en temps d'orage, ce qui, comme durée, est relativement fort peu de chose, et comme activité destructive, n'est presque rien. Les Anglais ne l'eussent pas adopté s'il y avait eu quelque phénomène de ce genre à craindre.

En somme, ni la méthode anglaise ni la méthode française ne préviennent le contact des personnes avec les conducteurs, ce qui serait cependant de bonne précaution ; mais à part cela, rien ne me semble manquer au bon fonctionnement du système anglais.

En France, on a combiné entre eux et varié les différents systèmes que j'ai décrits. J'ai cherché vainement dans les bibliothèques de la marine de l'État, des descriptions ou des règles pour l'établissement des paratonnerres. Les ingénieurs que j'ai questionnés m'ont dit que cela était abandonné aux

praticiens. Les magasins de la marine, à Paris, se pourvoient d'objets utiles pour les paratonnerres, comme de bien d'autres accessoires pour l'armement des navires, et les expédient dans les ports suivant les besoins ; le modèle réglementaire une fois adopté, tout se suit, se ressemble et est employé de la même manière. Les pièces dont on se sert aujourd'hui sont à peu près celles de notre dessin, figure 62. J'ose espérer que la publication du présent ouvrage fera introduire quelques modifications utiles, dans l'établissement des paratonnerres maritimes comme dans celui des paratonnerres terrestres.

Voici, en dehors de ce qui se fait dans les ateliers de l'État, ce qui m'a semblé être le plus complet : un conducteur en câble métallique, ou en barres ou plaques de métal, est incrusté dans le bois des mâts et dans tout leur parcours, puis masqué par des plaquettes de bois. Le conducteur est ainsi soustrait aux détériorations de l'oxydation, et les personnes sont préservées du contact des objets électrisés. Cette conduite est reliée à la base de la flèche, sur le mât de perroquet, puis au doublage par un boulon traversant la carlingue. A chaque changement de mât, dans la hauteur, le conducteur garnit le dessous du mât et le fond de la caisse où il s'appuie.

Ce système, qui me semble très-bon, présente cependant encore une lacune qu'il importe de signaler. Quand on dépasse le mât de perroquet, il quitte la caisse où son contact était assuré et formait la conduite électrique ; un matelot démonte la flèche, qui était vissée, comme j'ai dit, la pose et la cale perpendiculairement, avec une adresse souvent incroyable, sur le tenon ou le chouque du mât de hune, sans s'inquiéter d'ailleurs s'il existe ou n'existe pas là de conduite métallique qui supplée à la solution de conductibilité électrique ainsi produite. Or, c'est dans le moment où l'on a justement le plus de besoin du paratonnerre qu'on le supprime, sans en avoir conscience.

Je voudrais que celui qui installe ces sortes de paratonnerres, prît le soin de placer sur le tenon de la tête du mât de hune une plaque de métal en rapport électrique avec l'ensemble des conducteurs, et semblable à celle du mât de perroquet, afin que la flèche démontée s'y pût visser aussi facilement et aussi sûrement qu'à sa place habituelle.

Qu'on ait ou non un paratonnerre, je conseille d'éviter de placer des boules de métal plus ou moins dorées au haut des mâts. Cela se fait, mais il en résulte un danger, comme le démontre la théorie et comme le prouve l'anecdote suivante.

« Un jour, me dit un capitaine, j'étais en rade de Batavia. Un orage se déclara, prêt à se jeter sur nous. Je mis mon câble de paratonnerre à la mer. Près de moi naviguait la..., qui portait des boules dorées au faîte de ses mâts. La foudre frappa deux fois ce navire, et je dus mettre mon canot à la mer pour aller aider à éteindre l'incendie qu'elle avait allumé. »

Il ne faut pas employer de conducteurs en laiton, encore moins en fer; jamais de chaînons, mais au contraire un câble ou une tige continue d'égale section dans toute sa longueur. J'ai vu sur un des beaux navires du port de Nantes, un paratonnerre dont la chaîne était formée de chaînons de fil de fer d'un millimètre de grosseur. Cette construction attestait une ignorance absolue des principes de l'électricité, de la part de celui qui l'avait faite et de ceux qui l'avaient acceptée. Voici à ce sujet un fait qui se trouve relaté dans la physique de Daguin; quoique déjà cité par nous en parlant des conducteurs, il nous paraît utile de le reproduire ici : « Les chaînes ordinaires doivent être rejetées, les anneaux ne communiquant entre eux que par des surfaces de contact étroites, où il peut y avoir fusion. C'est ce qui est arrivé le 19 avril 1827, à la chaîne du paquebot *le New York;* elle fut dispersée en fragments sur presque toute sa longueur, et le pont fut couvert de globules de fer incandescent, gros comme des balles

de fusil, qui y mettaient le feu malgré une couche épaisse de grêle et une pluie torrentielle. »

Je trouve dans le même auteur les renseignements suivants : « Sur mer, les coups de foudre sont fréquents et les accidents bien plus à redouter que sur terre, puisqu'ils entraînent la perte du navire avec tout ce qu'il contient. M. Harris, qui travaille depuis bien longtemps à propager les paratonnerres sur les vaisseaux, cite, dans un travail présenté au conseil de l'amirauté, plus de 200 cas de foudre ayant endommagé les vaisseaux de la marine anglaise. Il a constaté entre autres qu'à une certaine époque, en temps de guerre, 40 vaisseaux de ligne, 20 frégates et 10 corvettes, ont été mis hors de service par 70 coups de foudre, parmi lesquels 10 ont mis le feu aux mâts, aux voiles et à d'autres parties des navires. Il remarque encore que sur 54 vaisseaux marchands foudroyés, 18 ont été complétement perdus. »

CHAPITRE XVII.

PARAGRÊLES.

Il a été vivement question, il y a quelque cinquante ans, de prévenir les orages de grêle qui désolent quelquefois nos campagnes, par des appareils établis à peu de frais, à faible distance les uns des autres et répartis dans les localités affligées de ce fléau. On en avait édifié dans le canton de Vaud et sur toute la côte du lac de Genève; mais on les a enlevés par la suite, car il étaient inutiles sinon nuisibles.

Cette idée donc, qui semblait bonne, n'a pas eu de succès. J'essayerai d'en donner les raisons, pour éviter de nouvelles tentatives dans cette voie, que je crois fausse.

On proposait de planter en terre de longues perches armées de pointes en fer et pourvues de chaînes ou de cordes de paille aboutissant à la terre. On espérait ainsi désarmer les nues chargées de grêle. La construction était assez simple, mais le nombre en eut dû être si élevé, qu'on en fut effrayé. Enfin, voyant un orage de grêle fondre sur Paris, armé cependant de pointes de paratonnerres en plus grand nombre qu'aucune campagne ne pourrait édifier de paragrêles, le doute sur leur efficacité vint à la pensée. Qu'un paratonnerre purge ou ne purge pas complétement la nue qui l'avoisine, peu importe en somme : la foudre ne tombe pas là où la nue est désarmée ; ou, si elle reste encore plus ou moins électrisée, la foudre frappe une flèche avoisinante, sans causer de dom-

mages. Mais il n'en est pas de même pour la grêle. Celle-ci se forme le plus souvent dans des nuages très-élevés et que n'atteignent pas les paragrêles. Il y a toujours ou presque toujours deux couches de nuages entre lesquels oscillent, dansent et sont transportés les grêlons pendant leur formation. Si les nuages inférieurs étaient désarmés par la présence des paragrêles, les grêlons tomberaient aussitôt et ravageraient le lieu où se trouvent ces appareils, contrairement, sans doute, au but qu'on se serait proposé d'atteindre. C'est pour cette raison, peut-être, que la grêle tombe souvent sur les grandes villes; car de même que les premiers coups d'orage provoquent la chute de la pluie, de même aussi la grêle tombe après les premiers coups de tonnerre. C'est l'effet de l'affaiblissement de la tension électrique des nuées qui recèlent la pluie ou la grêle. Il en doit être ainsi quand une pointe active désarme les nuées.

Quand la foudre tombe, c'est sur un point seulement, que ce point soit ou non déterminé par la présence d'un paratonnerre; mais quand la grêle tombe, c'est sur une grande étendue. Celui qui aurait édifié les paragrêles ne pourrait savoir s'ils fonctionnent et si cette fonction lui est utile. Les orages de grêle éprouvent parfois au sein de l'air des mouvements de translation très-étendus, et la grêle qu'ils répandent ravage souvent de grands espaces pendant cette translation. Tel, formé sur l'Océan, traversa la France, en 1818, du sud-ouest au nord-est. Un autre, en 1835, se fit sentir à l'île d'Oléron, et vint s'éteindre sur Clermont, après un parcours de 100 lieues. Les paragrêles, s'ils fonctionnaient, et j'ai tout lieu d'en douter, feraient tomber la grêle dans l'endroit même où ils se trouveraient placés, l'exposant de la sorte au lieu de le protéger. Pareille sollicitude du bien d'autrui à ses propres dépens ne serait pas du goût de tout le monde, d'autant qu'en faisant choir la grêle sur des lieux cultivés et fertiles, il pourrait arriver que cela ne servît qu'à en garantir les mers, les

forêts, les landes, les montagnes, qui ne la redoutent pas, ou des gens inconnus habitant de lointains pays et auxquels on s'intéresse peu.

Cette invention n'a pas eu de suite. Elle n'en méritait pas, et le petit nombre de perches édifiées dans ce but a été justement rendu à un meilleur usage.

CHAPITRE XVIII.

UTILITÉ DES PARATONNERRES. — FAITS A L'APPUI[1].

« Les paratonnerres sont-ils utiles? La théorie le fait prévoir (2). Mais les personnes étrangères aux sciences, compa-

1. Ce chapitre est emprunté tout entier au savant ouvrage de M. Louis Figuier : *Les Merveilles de la science.*

2. L'abbé Nollet, l'adversaire, en France, des idées de Franklin, disait qu'il était aussi insensé de croire à la vertu des paratonnerres que de prétendre qu'il était possible de vider la mer avec un verre en l'emplissant et le vidant alternativement; et cela fu répété par tous ceux qui soutenaient systématiquement l'inefficacité des paratonnerres. Comment concevoir, en effet, qu'une simple pointe, un si fragile objet, puisse vaincre l'électricité si grandiose et si redoutable du ciel, amassée menaçante dans les nuées orageuses? Les contradicteurs de Franklin durent se rendre à l'évidence. On pourrait aujourd'hui les convaincre peut-être, *à priori*, avec l'explication suivante :

Si la tension de l'électricité céleste est énorme, par contre le volume électrique des nuées orageuses est très-faible, ainsi que l'explique clairement M. le professeur Becquerel, lequel estime que toute l'électricité d'un orage ne suffirait pas à dissoudre un gramme d'eau. Il y a bien, selon moi, quelque exagération dans cette dernière affirmation, car il me semble que le coup de foudre qui fond la pointe d'un paratonnerre et qu brise ou transporte au loin des parties d'édifices, accomplit des effets calorifiques ou mécaniques supérieurs à l'effet chimique capable de produire la décomposition d'un gramme d'eau; mais toujours est-il que la quantité d'électricité qui compose un orage est faible en volume. « Au moment, dit M. Becquerel, où le nuage se forme dans un air tranquille et possédant un excès d'électricité positive, cette électricité se réunit en une couche très-mince à la surface de chaque globule vésiculaire, que l'on peut considérer comme bon conducteur. Dans le cas où l'électricité est faible et où ces globules sont peu rapprochés les uns des autres, il n'en résulte aucun effet particulier, et le nuage n'est pas encore orageux. Seulement, il paraît plus fortement électrisé que l'air environnant, parce qu'il est plus conducteur. Si le nuage est très-dense, les vésicules qui le composent sont plus rapprochées, et on peut le considérer comme un conducteur continu. Toute l'électricité qui se trouvait à l'intérieur, autour des globules vésiculaires, se porte à la surface, où elle est tenue en équilibre par la pression de l'air ambiant. Il suit de là que lorsqu'un nuage orageux se forme, il doit contenir autant d'électricité que la masse d'air qui lui a fourni tous les globules de vapeur; ce nuage ayant une certaine étendue, on conçoit comment une quantité d'électricité dont l'intensité est

rant la grandeur du phénomène de la foudre et les désastres qu'il occasionne, avec la faiblesse et l'insignifiance apparente du moyen qu'on lui oppose, ont toujours conçu des doutes à ce sujet. Dans cette conjoncture, il n'y a d'autres preuves à admettre que celles qui résultent des faits observés. Il faut que des événements multipliés aient prouvé avec surabondance que l'instrument de Franklin rend, en effet, les édifices invulnérables. Or, cette démonstration a été fournie d'une manière si complète, que nous n'avons que l'embarras du choix parmi les faits innombrables qui la confirment. L'énumération qui va suivre ne laissera subsister aucun doute à cet égard.

« En 1782, il existait déjà à Philadelphie un nombre considérable de paratonnerres. Sur 4,800 maisons dont se composait la ville, on comptait au moins 400 paratonnerres. Tous les édifices publics en avaient été munis. Un seul faisait exception ; c'était l'hôtel de l'ambassade de France. Le 27 mars 1782, un orage éclata sur la ville, et tomba précisément sur cet hôtel. Il y occasionna divers dommages, et frappa un officier français, qui mourut au bout de quelques jours. On ne manqua pas, après cet événement, de placer un paratonnerre sur l'hôtel, qui depuis fut épargné par la foudre.

« Le 12 juillet 1770, à Philadelphie, la foudre tomba tout à la fois sur un petit navire dépourvu de paratonnerre, sur deux maisons qui étaient dans le même cas, et sur une troisième maison défendue par un de ces appareils. Le navire et les deux premières maisons furent gravement endommagés. Quant à la maison armée d'un paratonnerre, et qui avait été également

faible quand elle est disséminée sur un grand espace, acquiert une tension énorme quand elle se porte à la surface du nuage... » Si l'on suppose que la pointe d'un paratonnerre vient effleurer alors les bords du nuage, ou du moins s'en approche suffisamment pour exercer sur lui son action, on comprend que la faible quantité d'électricité avoisinante, sinon l'électricité tout entière que contient le nuage, puisse s'échapper en quelque sorte par cette pointe, qui lui vient ouvrir vers la terre un libre passage. Meilleur est le conducteur et plus rapidement ainsi se dissipe la tension électrique du nuage. Telle est la seule et, selon moi, suffisante explication rationnelle qu'il me paraisse aujourd'hui possible de donner de l'efficacité des paratonnerres.

atteinte par la foudre, elle n'offrit aucun dégât : seulement, la tige du paratonnerre avait été fondue sur une assez grande longueur.

« En 1787, toujours à Philadelphie, la maison de Franklin fut frappée par le feu du ciel, qui n'y occasionna pourtant aucun dommage. Comme dans le cas précédent, la pointe du paratonnerre avait été fondue, « de sorte, dit Franklin dans une lettre à M. Landriani, qu'avec le temps l'invention a été de quelque utilité pour l'inventeur. »

« La belle tour de la cathédrale de la ville de Sienne, l'un des clochers les plus beaux et les plus élevés d'Italie, était souvent foudroyée, et endommagée gravement. On se décida, en 1776, à la mettre sous la sauvegarde d'un paratonnerre.

« Les habitants de Sienne ne virent pas sans horreur et sans effroi se dresser sur la tour de leur cathédrale ce qu'ils appelaient la *baguette hérétique*. Mais le 18 avril 1777, la foudre se chargea de réconcilier ces bons catholiques avec la découverte de la science profane. Elle vint frapper la même tour qui avait été si endommagée par le feu du ciel ; mais elle descendit, inoffensive, le long du conducteur, sans causer le moindre dégât. Sans même altérer les ornements dorés près desquels elle passait, elle se perdit dans le conduit souterrain qui la faisait aboutir à un canal rempli d'eau.

« Le clocher de Saint-Marc, à Venise, avait été foudroyé un grand nombre de fois, et les dégâts occasionnés à ce haut édifice avaient entraîné à beaucoup de dépenses la république vénitienne. Ce clocher était exposé plus que tout autre aux coups de foudre, à cause de sa grande élévation, de sa situation isolée et de la grande quantité de fer qui entrait dans sa construction. Aussi dans une intervalle de quatre siècles avait-il éprouvé neuf coups de tonnerre, dont les effets avaient été plus ou moins désastreux. Le premier et le second furent si terribles, que le feu du ciel renversa en partie le clocher ; par le même coup, le clocher des Frères Mineurs conventuels fut

frappé au même instant, et sept cloches furent fondues. Dans le septième coup de foudre, le 23 avril 1745, il y eut sur le clocher de Saint-Marc trente-sept fractures, qui menaçaient la tour d'une ruine entière. Les réparations coutèrent plus de 8,000 ducats.

« Rien n'était plus nécessaire, on le voit, que d'élever un paratonnerre sur la tour de Saint-Marc. C'est ce que l'on fit au mois de mai 1776. Depuis cette époque, il n'a plus été atteint par le feu du ciel.

« Le clocher des Cordeliers de *San Francisco della Vigna*, l'un des plus beaux de Venise, et qui, s'élevant en pyramide à une grande hauteur, servait autrefois de signal aux vaisseaux prêts à entrer dans le port, fut frappé, et presque entièrement renversé par la foudre en 1777. On le rebâtit bientôt, et le sénat de Venise ordonna qu'il fut armé d'un paratonnerre.

« A la fin du mois de mai 1780, comme on travaillait encore à la construction de cet appareil, la foudre tomba de nouveau sur le clocher, qui n'était pas encore muni de sa tige préservatrice. Mais dès que la matière fulminante fut parvenue à l'extrémité supérieure de ce conducteur partiel, elle fut transmise, sans occasionner le moindre dommage, et se perdit ensuite tranquillement dans le sol.

« En 1781, ce même clocher fut encore atteint par la foudre ; mais cette fois son paratonnerre était complétement installé. Aussi ne reçut-il aucun dommage. Une légère marque à la croix, quelques empreintes noires que l'on trouva sur la chaîne du paratonnerre, attestèrent la transmission inoffensive du fluide fulminant.

« D'après un mémoire de M. Harris, savant Anglais, qui s'est occupé avec infiniment de soin de la construction des paratonnerres de navires, il y a dans le Devonshire, six églises à clochers très-élevés, dont cinq ne sont pas munis de paratonnerres. Dans un intervalle de quelques années, les

six églises ont été frappées de la foudre, et la seule qui n'ait subi aucun dommage de l'action du météore, était la seule qui fût armée d'un paratonnerre.

« Lichtenberg, d'après les observations et sous la garantie d'Igenhousz, a raconté un cas fort curieux de l'efficacité du paratonnerre.

« En Carinthie, dans les domaines du comte Orsini de Rosenberg, chambellan de l'Empereur, il existait, sur une montagne, une église qui avait été, à plusieurs reprises, frappée du tonnerre. Cet accident, fréquemment renouvelé, avait amené tant de désastres que, durant l'été, on s'abstenait d'y célébrer le service divin. En 1730, cette église fut, suivant l'expression d'Igenhousz, « tout anéantie par la foudre. » On la rebâtit à neuf, mais elle subissait trois ou quatre fois par an, comme par le passé, les périlleuses visites de l'électricité météorique. Dans le cours d'un seul orage, le tonnerre tomba jusqu'à dix fois sur le clocher; et en 1778 il fut foudroyé à cinq reprises différentes : la cinquième fois l'atteinte fut si violente, que, craignant pour la solidité de l'édifice, le comte Orsini se décida à le faire démolir.

« On le releva de nouveau, mais cette fois en le munissant d'un paratonnerre. Depuis cette époque jusqu'en 1783, date des observations de Lichtenberg, aucun accident ne vint compromettre la solidité de ce bâtiment. Une seule fois le tonnerre vint le frapper ; mais l'électricité s'écoula le long de la route qu'on lui avait tracée, et ne fondit pas même la pointe du conducteur.

« L'abbé Toaldo est le premier qui, en 1782, établit des paratonnerres en Autriche et en Bavière. A peine les conducteurs étaient-ils placés sur le château de Nymphenbourg, appartenant à l'électeur de Bavière, que ce prince y observa le premier, dans un orage, des feux sur les pointes de deux de ces instruments. Il fit aussitôt appeler pour témoin toute la cour, dans laquelle il y avait, comme les appelait l'Électeur,

des hérétiques en électricité, lesquels furent convertis à la seule inspection de ce phénomène.

« Un autre fait curieux fut observé à Nymphenbourg. Pendant un orage, on vit s'avancer vers le château des nuées orageuses qui lançaient de terribles éclairs. Mais dès que ces nuées avaient passé au-dessus des paratonnerres, elles devenaient toutes « comme des charbons éteints ; aucune n'éclairait plus, ayant fait passer tout leur feu dans les pointes. » Beaucoup de personnes furent témoins de ce fait, ainsi que l'abbé Toaldo qui l'a rapporté.

« Dans le mémoire de l'abbé Bertholon intitulé : *Nouvelles preuves de l'efficacité des paratonnerres*, on lit que, durant une tempête terrible, les paratonnerres de Londres, et principalement les pointes de ceux qui se trouvaient sur le palais de la Reine, se montrèrent lumineux. « On voyait, dit Bertholon, « le fluide électrique se jouer et voltiger de la plus belle « manière. » Le fluide fut si bien transmis, qu'il n'y eût en ce moment, malgré la violence de l'orage, aucune maison de Londres qui en souffrît le moindre dégât.

« Un autre exemple de l'utilité des paratonnerres fut constaté à Glogau, dans la Silésie, en 1782. Le 8 mai, vers huit heures du soir, un orage venu de l'ouest vint fondre non loin du magasin à poudre établi dans *Galinaburg*. Un éclair éblouissant parcourut le ciel, accompagné d'un effroyable éclat de tonnerre, le tout avec tant de violence, que la sentinelle, frappée de stupeur, perdit pour quelques moments l'usage de ses sens. Quelques ouvriers employés aux travaux de la forteresse, à deux cent cinquante pas des magasins, virent la foudre sortir du nuage, et frapper la pointe du conducteur, sans lequel évidemment tous les bâtiments auraient sauté.

« Le 5 septembre 1779, un violent orage ayant éclaté à Manheim, la foudre tomba sur une cheminée de la Comédie allemande, et la mît en pièces. Elle frappa en même temps

une maison située à peu de distance; c'était celle du comte de Riancour, embassadeur de Saxe à Paris. Cette dernière maison était munie depuis deux ans d'un paratonnerre, qui la préserva de tout dégât, car la foudre suivit parfaitement la chaîne conductrice. Plusieurs officiers et autres personnes virent la flamme électrique tomber sur le paratonnerre, et de là sur le sol, où elle souleva un tourbillon de sable qui couvrit le conducteur à son entrée en terre. Ce paratonnerre avait été élevé par l'abbé Hemmer, de l'Académie de Manheim, garde et démonstrateur de physique du cabinet de l'Électeur.

« Le paratonnerre que l'abbé Bertholon avait élevé sur l'église de Saint-Just, à Lyon, donna une preuve de l'efficacité de ces instruments, même quand ils sont privés de leur pointe. Le désir de voir la foudre tomber sur ce paratonnerre, afin de montrer à tous les yeux la manifestation de l'utilité de cet appareil, avait engagé Bertholon à différer assez longtemps de le compléter, en l'armant de sa pointe. Il espérait que dans cet état la foudre, qui l'avait auparavant assez souvent visité, pourrait y revenir. Le 3 septembre 1780, après un orage accompagné de vent, de pluie et de fréquents tonnerres, un grand nombre de personnes virent un trait de feu serpentant venir frapper l'extrémité du paratonnerre désarmé de sa pointe. L'instrument le conduisit en silence dans la terre, sans qu'il occasionnât le moindre dommage à l'édifice.

« Ainsi la physique fit dans ce cas l'épreuve que tous les gouvernements prescrivent pour s'assurer d'avance de la résistance des bouches à feu et de celle des machines à vapeur. La pointe fut placée ensuite sur la tige du paratonnerre pour compléter l'instrument.

« Le château royal de Turin, la *Valentina*, qui avait souvent été frappé du tonnerre, s'en trouva entièrement à l'abri dès qu'il fut armé d'un paratonnerre par Beccaria.

« En 1783, la foudre fit beaucoup de ravages dans toute l'Italie; mais à Gênes, où l'on avait élevé un grand nombre

de paratonnerres, elle ne fit presque aucun mal, et, selon la remarque de Landriani, elle ne frappa que deux ou trois maisons assez éloignées de ces conducteurs.

« Arnolsini a remarqué que la foudre ne tomba point dans l'été de 1783, à Lucques, où il avait introduit, le premier, l'usage des paratonnerres, bien qu'elle fît de grands ravages, pendant le même temps, dans toute l'Italie.

« Aux environs de Bologne, elle tomba très-souvent et tua quatre personnes. Néanmoins elle respecta le palais de Saint-Marin et deux édifices de Lucques armés de conducteurs, qui, avant cette époque, avaient souvent été foudroyés.

« Schinttz, secrétaire de l'Académie de Zurich, ville dans laquelle on avait élevé un grand nombre de paratonnerres, a également observé que, malgré la très-grande quantité d'orages qui éclatèrent en Suisse, en 1783, aucune maison n'en souffrit le plus petit accident.

« La maison de campagne du comte de Mniszeck, à Demblin, avait été ravagée par la foudre pendant plusieurs années, ce qui détermina à y élever un appareil préservateur. Dès lors la foudre pût y tomber cinq fois sans occasionner aucun accident facheux.

« L'abbé Hemmer écrivait en 1783, à Landriani, que l'église luthérienne de Bornheim et celle de Nierstein, qui avaient souvent été fort endommagées par le feu du ciel, en furent entièrement préservées, même dans les orages les plus terribles, dès qu'on les eut munies de paratonnerres.

« D'après M. Greppi, les maisons de Hambourg n'éprouvèrent plus aucun dégât de la foudre depuis que ces appareils y furent établis.

« Dans tous les faits qui précèdent, il n'a été question que d'édifices et de maisons préservées du feu du ciel par l'appareil de Franklin. Donnons maintenant des preuves que les navires en mer peuvent être mis, par le même moyen, à l'abri de ce redoutable météore.

« En 1780, le physicien Delor montrait à Paris, comme objet de curiosité, une portion du conducteur du paratonnerre d'un vaisseau anglais, formé d'une pointe de fer doré qui communiquait avec une chaîne de tringles de fer descendant jusque dans la mer. Dans la réunion de ces tringles, il existait, par hasard, une petite interruption de trois à quatre lignes. Ce vaisseau ayant été surpris, dans sa route, par un orage considérable, tout l'équipage put observer pendant trois heures l'écoulement du feu électrique dans la portion interrompue du conducteur.

« Le naturaliste Forster, dans son voyage autour du monde, eut l'occasion de reconnaître l'efficacité des paratonnerres sur les navires. Les îles de la mer du Sud sont exposées à de violents orages qui éclatent en toute saison. Pendant que Forster naviguait dans ces parages, il faisait souvent attacher les chaînes du conducteur du paratonnerre pour prévenir les effets de la foudre. Le bâtiment se trouvant un jour dans l'île d'Otahiti, on envoya un matelot attacher cette chaîne au grand mât. Cet homme eut à peine rempli son office, qu'un autre matelot, qui nettoyait la chaîne avant de la fixer près des haubans, reçut une secousse électrique, et l'on vît le feu du ciel descendre le long de ce conducteur, sans occasionner le moindre accident.

« Voilà sans nul doute un témoignage décisif de l'efficacité des paratonnerres sur les navires. La foudre est transmise par la chaîne conductrice ; on la voit descendre du ciel dans la mer : elle avertit de sa présence, par une secousse électrique, le matelot qui allait fixer le conducteur, et aucun accident n'arrive ; si la chaîne n'eût pas été placée à temps le long du mât, le vaisseau eût été foudroyé.

« Au mois de juin 1813, dans le port de la Jamaïque, le vaisseau *le Norge* et un navire marchand furent atteints par la foudre et gravement endommagés ; ils n'étaient munis ni l'un ni l'autre de paratonnerres. Les autres bâtiments en très-grand

nombre, qui remplissaient le port, furent respectés; ils étaient tous munis de leurs paratonnerres.

« En janvier 1814, la foudre tomba dans le port de Plymouth. Le vaisseau *Milleford* fut le seul frappé et endommagé. Il était aussi le seul qui, dans ce moment, ne se trouvât pas muni de son paratonnerre.

« Trois coups de foudre frappèrent, en janvier 1830, dans le canal de Corfou, le paratonnerre du vaisseau anglais l'*Etna*, sans lui causer le moindre dommage. Le *Madagascar* et le *Mosqueto*, vaisseaux sans paratonnerres, placés non loin de l'*Etna*, furent atteints et fort maltraités par ce météore.

« Après des faits si nombreux, et dont on pourrait étendre presque indéfiniment la liste, le lecteur demeurera suffisamment convaincu de l'efficacité des paratonnerres, et trouvera sans doute bien justifié l'hommage que la poésie a rendu à cette belle découverte scientifique, quand elle a dit, par l'organe de l'auteur des *Mois*, en parlant de la tige électrique :

Et par elle, à nos pieds, conduit sans violence,
Le tonnerre captif vient mourir en silence.

CHAPITRE XIX.

RÉSUMÉ.

Pour résumer les différentes parties de ma longue étude, je poserai les règles suivantes :

1° Le paratonnerre doit avant tout préserver les personnes. En conséquence, on doit supprimer tout rapprochement électrique possible entre les habitants d'un édifice et la conduite du paratonnerre, et surtout éviter toute possibilité de choc électrique dans l'ensemble de l'appareil, au cas principalement où des personnes pourraient se trouver involontairement au contact de pièces électrisées ou dans leur voisinage. A cet effet, toute jonction quelconque des pièces composant les paratonnerres, avec les parties métalliques des bâtiments servant à supporter les personnes ou seulement susceptibles de les toucher ou de les approcher, doit être soigneusement évitée. Les faits cités dans le cours de cet ouvrage, de marins frappés d'une violente secousse en touchant le conducteur de leur paratonnerre, nous montrent que toute solution de continuité existant dans un paratonnerre, expose à des secousses électriques dont on ne peut mesurer la puissance, les personnes se trouvant en communication avec l'une quelconque des pièces de ce paratonnerre.

2° Le paratonnerre doit préserver le bâtiment sur lequel il se trouve placé. Pour cela, il doit écarter ou atténuer la puis-

sance du feu du ciel, et à cet effet ne pas avoir à redouter l'échauffement, l'ignition de ses différentes parties, et être isolé des parties combustibles du bâtiment.

3° Le nombre des flèches, leur emplacement et leur élévation, la multiplicité des pointes sur chaque tige, doivent suffire pour s'emparer, dans tous les cas possibles, de la foudre enfermée dans un nuage orageux et qui peut menacer un bâtiment quelconque. Mieux vaut n'avoir pas de paratonnerre que d'en posséder un qui ne remplisse pas absolument toutes les conditions d'une sécurité parfaite.

4° Le nombre et la section des conducteurs doivent répondre à l'activité des flèches. La section des conducteurs desservant plusieurs flèches, doit être suffisante pour l'écoulement de la quantité maximum d'électricité que ces flèches leur peuvent verser, soit dans le cas d'un écoulement régulier, soit dans celui de violents et subits coups de foudre.

5° La mise à terre doit pouvoir déverser dans le sol, instantanément, toute l'électricité que peuvent lui apporter les conducteurs.

6° Tout paratonnerre doit former dans son ensemble une conduite électrique absolue, complète, parfaite, homogène, et pour cela être composé d'éléments dont le coëfficient de conductibilité électrique, multiplié par la section de chacun d'eux, forme un égal produit. Un seul objet, la flèche, échappe à cette règle : elle plonge dans les sources électriques et hume probablement par toutes ses surfaces le fluide qu'elle rejette dans le sol. Nous avons dit précédemment que des flèches en fer avaient été fondues vers la pointe. Mais depuis qu'on se sert de flèches en cuivre, à pointe de platine, aucune d'elles, à notre connaissance, n'a été dégradée, quoiqu'on ne leur puisse donner la section reconnue indispensable pour les conducteurs. Un des paratonnerres que j'ai établis suivant les règles que je préconise, a été atteint d'un coup de foudre et n'en a gardé nulle trace, non plus que le bâtiment qu'il sur-

montait. Il n'est donc nécessaire d'appliquer la règle précitée qu'à partir du pied de la flèche en fer.

Un paratonnerre établi dans des conditions irréprochables peut garantir non-seulement des coups de foudre directs, mais aussi du choc en retour, en désarmant par influence les nuées orageuses qui l'avoisinent. Peut-être même affaiblit-il en même temps, proportionnellement à son activité, le coup de foudre direct éclatant à distance et pouvant causer le choc en retour dont il est le préservateur immédiat. Un marin de ma connaissance a été frappé d'un choc en retour venu de la mer, en maniant les chaînes de son ancre, au moment où le coup principal éclatait à six kilomètres de distance; mais son navire n'avait pas de paratonnerre.

Répétons encore que les pointes multiples sont toujours une excellente précaution, et qu'il est des cas où elles sont indispensables.

J'ai fait tout mon possible, dans le présent ouvrage, pour prouver la nécessité des dispositions que je conseillais d'employer, et je crois en avoir indiqué tous les moyens pratiques.

Il faut se défier des mauvaises économies, et ne rien ménager pour rendre un paratonnerre infaillible, non-seulement dans le présent, mais dans l'avenir. Il faut se défier, non-seulement des économies qu'on serait tenté de faire soi-même, mais de celles que les fournisseurs pourraient faire pour augmenter leurs bénéfices. J'ai retiré d'une église un câble de paratonnerre fabriqué de deux parties : une vieille et une neuve, dont les bouts avaient été tout simplement juxtaposés et reliés ensemble par une ligature. Le câble était rompu, et il traînait sur le toit, laissant de la sorte exposé aux plus graves dangers le bâtiment qu'il devait protéger. Et depuis quand cela durait-il ? Cela montre quelle est sou-

vent l'imminence du danger de la foudre, et combien il est nécessaire à la fois d'établir de bons paratonnerres et d'en isoler les personnes.

Dans les grandes villes, où il existe un nombre considérable d'édifices élevés, le danger d'être foudroyé est peu à redouter, mais il n'en est pas de même dans les villages et les campagnes. Il résulte d'un travail fait par M. Boudin, qu'il y a eu en France 2,238 personnes tuées roides par la foudre en 25 ans, de 1838 à 1862, ou en moyenne 77 par an. Le maximum a été de 111 en 1835, et le minimum de 18 en 1847. Si l'on y ajoute le nombre de celles qui ont survécu à l'accident, et de celles qui n'ont été que blessées, on arrive à plus de 6,700, ou 251 par an, en moyenne. Les femmes paraissent moins exposées que les hommes, car sur 880 personnes frappées, de 1854 à 1863, il n'y a eu que 233 femmes; moins du tiers. On pourrait attribuer cette sorte d'immunité à ce que les femmes s'exposent peu au dehors, en temps d'orage; mais, de plus, on les a vues, dans des groupes, plusieurs fois épargnées de préférence aux hommes. Faut-il croire ici à une influence de la nature propre des personnes ou à celle de leurs vêtements? Ce pourrait être là un grave sujet d'études.

Les départements les plus élevés au-dessus de la mer et ceux dont le sol est montagneux, sont les plus exposés. Ainsi, de 1835 à 1852, le département du Cantal a eu 20 morts par la foudre, l'Aveyron 24, la Corse 27, Saône-et-Loire 38, Haute-Loire 44, Puy-de-Dôme 48; tandis que l'Eure, l'Eure-et-Loir et le Calvados n'en ont eu que 2 ou 3. On a vu jusqu'à 9 personnes tuées du même coup: ainsi, le coup de foudre qui frappa Châteauneuf-lès-Moutiers, dans les Basses-Alpes, tua 9 personnes et en blessa plus de 80. A la fin de juin 1861, on a relevé 33 coups de foudre en 8 jours, dont chacun a tué ou blessé au moins 1 personne.

Pour les autres pays de l'Europe, M. Boudin cite pour la moyenne annuelle des individus tués roides par la foudre : en

Belgique 3, en Suisse 9.64, en Angleterre 22. Ce sont là évidemment des minimums, car tous les accidents ne sont pas constatés, tous les blessés ne s'étant pas plaints, et la cause de toutes les morts n'ayant pas été toujours connue ou enregistrée.

CHAPITRE XX.

ÉLECTROMÈTRE.

Avant de clore mes études sur le paratonnerre, je dois indiquer un projet d'instrument que je désirerais voir établir près des paratonnerres, surtout près de ceux qui se trouvent sur les édifices consacrés aux études scientifiques. Son objet est de constater si le paratonnerre fonctionne, et quand et comment il fonctionne. En voici la description.

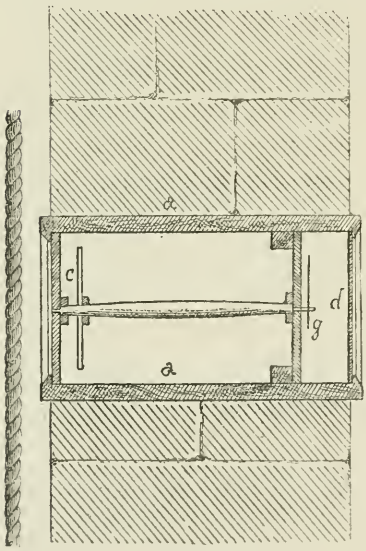


Fig. 66.

Dans l'épaisseur du mur au dehors duquel passe le câble du paratonnerre, se trouverait scellée une boîte carrée fortement construite en bois de chêne, *aa-bb* (*fig.* 66 *et* 67). Une cloison en ardoise ou en verre fort la fermerait extérieurement en *c*, et en *d* serait une vitre (*fig.* 66). Un cadran resterait visible à travers cette vitre (*fig.* 67.)

Un barreau aimanté, porté par un axe s'appuyant en *c* et en *g*, et placé librement sur des chapes analogues à celles des aiguilles de boussole, serait muni d'une aiguille *g* indiquant

sur le cadran les mouvements du barreau aimanté. Ce cadran serait visible de l'intérieur du bâtiment par la vitre *d*.

Les aiguilles aimantées peuvent indiquer par leurs mouvements la présence et la direction des courants électriques ; c'est la découverte d'Oerstedt ; fait merveilleux, qui a fait découvrir successivement, par Arago et Ampère, la propriété que possèdent les fers doux d'être aimantés par l'action d'un courant électrique ; d'où la naissance des électro-aimants et de tous les instruments de télégraphie, d'horlogerie et d'induction électriques.

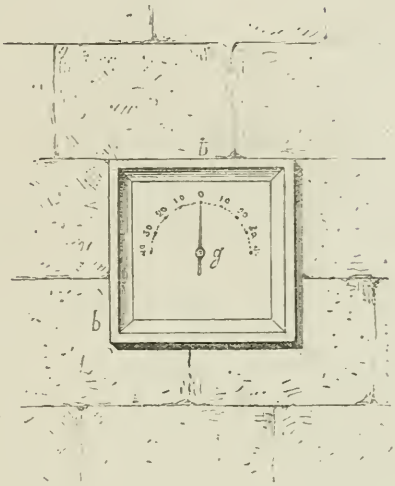


Fig. 67.

Quand un courant électrique passe près d'une aiguille aimantée, librement suspendue, et que sa direction est dans le sens de la longueur de l'aiguille, celle-ci tend à se mettre en croix avec le conducteur ; et si la direction du courant va du positif au négatif, l'aiguille s'incline, son pôle nord à droite, tandis que si le courant marche en sens contraire, l'aiguille s'incline à gauche (*fig.* 68). L'expérience, d'ailleurs bien connue, se fait sur l'aiguille libre et dirigée vers le nord. Nous avons supposé ici l'aiguille placée verticalement, comme elle devra l'être au repos dans notre instrument, et lestée pour tenir cette position, que n'appellerait point directement l'action magnétique de la terre. Le courant doit passer par le câble, derrière le barreau aimanté portant l'aiguille.

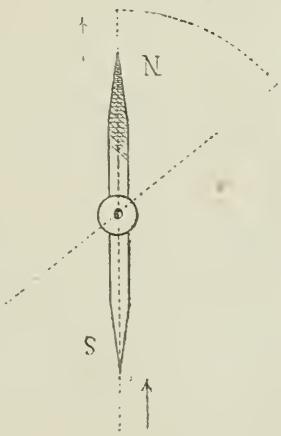


Fig.

Si, pendant un orage, des courants d'électricité circulent dans le câble, allant de la terre à la nue, le barreau aimanté de l'instrument s'inclinera vers la droite; si, au contraire, la nue est aimantée positivement et la terre négativement, le courant sera inverse, et l'aiguille s'inclinera à gauche. Si l'orage ne fait passer dans le conducteur du paratonnerre que des ondes tranquilles plus ou moins intenses, l'aiguille se tiendra inclinée dans le même sens. Si, au contraire, l'écoulement de l'électricité se manifeste par des mouvements violents, les déplacements désordonnés de l'aiguille indiqueront ces secousses dangereuses. Tant que l'orage tiendra suspendues, au-dessus de la flèche, des nues électrisées d'un fluide de même nom, on verra l'aiguille s'incliner du même côté; mais si les vents emportent des nues électrisées de fluides différents, l'aiguille, s'inclinant successivement sur la droite ou la gauche de son cadran, le fera connaître.

On a appelé de divers noms, sur la désignation de leurs constructeurs ou de leurs applicateurs, les instruments servant à mesurer la force des courants électriques: galvanomètres, rhéomètres, électromètres, magnétomètres; boussoles d'inclinaison, de déclinaison, etc., de sinus, de tangentes, etc. La force indiquée par l'aiguille est proportionnelle au sinus de son angle d'écartement.

Mon instrument ferait connaître la force des orages, et peut-être aussi, par déduction, leur distance. L'aiguille posée comme il a été dit, devrait être lestée de manière à rester assez sensible pour indiquer les plus légers mouvements électriques de l'atmosphère, tout en ne pouvant pas devenir folle et atteindre ses limites aux premiers effets.

Inutile de dire que les matériaux employés devront être des isolants; que l'axe devra être en bois dur ou en tube de verre, avec des pivots en acier, afin qu'il ne puisse conduire, même au travers des vitres, le fluide dangereux qu'il s'agit d'étudier.

Je voudrais adjoindre à cet instrument un autre appareil plus sensible, formé d'un fil long et mince faisant un grand nombre de tours autour d'une seconde aiguille installée de la même manière, mais plus légère. Peut-être cet appareil ferait-il connaître des effets météorologiques, tels que les courants légers, terrestres ou célestes, que font naître l'humidité ou la sécheresse de l'air, la chaleur et la lumière du soleil, le lever et le coucher de cet astre, les aurores boréales, etc., etc... Pour que ce second instrument possédât toute la sensibilité désirable, le câble du paratonnerre devrait avoir une solution de continuité entre les attaches du fil. Cette coupure devrait être remplie, dans les temps où l'on ne consulterait pas l'instrument, par une plaquette de métal, afin d'éviter le danger qu'elle présenterait en temps d'orage. En temps ordinaire, on placerait dans la coupure une carte ou une lame de cristal, afin que s'il jaillissait quelques étincelles, comme celles qu'avait observées Lemonnier, elles fussent enregistrées. A ces moyens d'observation on devrait adjoindre un enregistreur à horloge ou électrographe. Je voudrais, toutefois, qu'un instrument de ce genre ne fût appliqué que dans les établissements scientifiques, comme sont, par exemple, l'Observatoire et le Conservatoire des arts et métiers ; là seulement où la nécessité d'une étude constante enlève toute crainte d'imprudence ou d'inexactitude.

J'ai dit que le paratonnerre était un instrument passif, et qu'on ignorait quels étaient ses moments d'inertie ou d'action. L'appareil de vérification sortirait le paratonnerre de cet état passif pour le rendre parlant. Non-seulement il dévoilerait peut-être une science nouvelle, mais d'abord il serait un contrôle de la science acquise, et ferait connaître d'une manière certaine le mode, bon ou mauvais, de fonctionnement du paratonnerre ; il servirait à comparer les systèmes et à en constater l'efficacité différente.

Dans les conseils que j'ai donnés, pour la pose des para-

tonnerres, je me suis efforcé de prouver par l'analyse l'exactitude de mes dires ; mais je n'ai pas le moyen d'en donner des preuves indéniables, ce qu'un électromètre, au contraire, me permettrait de faire sûrement. A part le cas où l'on voit briller les aigrettes électriques à la pointe des paratonnerres, rien n'indique leur activité. Un ignorant peut construire un paratonnerre *pour attirer la foudre et la jeter dans l'eau ;* il peut mettre en danger la vie et la propriété des personnes qui auront eu recours à lui ; mais rien ne prouve visiblement la différence qui existe entre le paratonnerre bien conçu et celui exécuté en dépit de toute raison. Si l'on y joignait un électromètre, tout changerait, car la preuve serait alors à côté du problème soi-disant ou vraiment résolu.

NOTE.

(Extrait du journal l'*Union Bretonne*. — N° 201, 26 août 1869.)

Il y a quelques mois, en me rendant au beffroy de Sainte-Croix pour les soins que je donne à l'horloge, je m'aperçus que le câble du paratonnerre était rompu. J'en informai M. l'ingénieur, et, dans la conversation, je lui donnai connaissance de la note suivante, que j'avais adressée à l'Académie des Sciences.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Séance du 27 octobre 1862.

M. Callaud, de Nantes, transmet une note, ou mieux, quelques observations pratiques sur les paratonnerres :

« A Nantes, on forme les conducteurs de câbles de fils fins de laiton : le coëfficient de conductibilité électrique de cet alliage est de 12 ; celui du fer est de 16 (M. Pouillet), le cuivre rouge étant de 100. Les métaux s'échauffent en raison inverse de leur pouvoir conducteur, par l'action d'un courant électrique ; nous avons vu les chaînes en fer d'un pont suspendu sur la Loire, brisées par un coup de foudre. Si le laiton n'est pas, comme le fer, exposé aux dangers de la combustion, il est plus fusible, et peut être dissous par un choc électrique violent, laissant alors exposé le bâtiment qu'il doit préserver.

« Je forme les câbles de *cuivre rouge* de sept torons de sept fils chacun ; ce nombre permet d'assembler les surfaces cylindriques avec moins de vide, et de rendre les fils plus intimement solidaires.

« Pour la mise à terre, on ne cherche pas, ce me semble, à rendre le conducteur humide égal au conducteur métallique. On a coutume de détordre le câble et d'étendre le faisceau dans l'eau qui le baigne, ou d'y attacher un grappin en fer dont les branches sont immergées. Le conducteur ayant une section de 1 centimètre carré, et son pouvoir conducteur étant représenté par 91,440,000 ; celui de l'argent considéré comme

100,000,000; celui de l'eau étant 0.0133 (eau distillée), une surface mouillée de 700 mq[1] serait nécessaire pour qu'elle devînt un conducteur d'un pouvoir égal à celui du câble. En cas d'un choc violent, une surface aussi restreinte qu'on la fait par les moyens ordinaires, serait presque un isolement. J'ai proposé de placer entre les branches d'un grappin en fer galvanisé et soudé au câble, des morceaux de charbon de cornue, puis d'en assembler autour et y touchant une assez grande quantité mêlée de coke faisant une sorte de pavé. Cette substance est un excellent conducteur de l'électricité, le coke l'est aussi; la nature poreuse de ce dernier augmenterait beaucoup la surface de contact du conducteur avec l'eau. J'emploie aussi le charbon de cornue pour remplir les tranchées où passe le conducteur avant d'atteindre la citerne. »

Monsieur l'ingénieur approuva cette note, me chargea de réparer le dommage et d'assurer la bonne conductibilité de l'ensemble, en suivant mes propres indications; puis, considérant que la plupart des paratonnerres ne sont pas, le plus souvent, établis dans des conditions scientifiques qui en assurent l'efficacité, il me fit un devoir de publier ces observations, afin de bien formuler les conditions théoriques qui en doivent régir la construction.

Les instructions de Gay-Lussac sont surannées; la connaissance de l'électricité a pris, depuis leur publication, un grand développement; *les instructions supplémentaires* sont rarement consultées par ceux qui sont chargés d'établir des paratonnerres, ouvriers habiles et consciencieux, dont la main-d'œuvre est souvent fort belle, mais qui ne connaissent, en aucune sorte, la science électrique.

L'électricité atmosphérique agit de plusieurs façons très-différentes, qu'un paratonnerre bien établi doit neutraliser dans son voisinage ou diriger quand les décharges l'atteignent directement.

L'orage part quelquefois d'une seule nue isolée et puissamment électrisée, dans une atmosphère sèche; elle promène dans un milieu isolé son action violente et dangereuse. Un orage de ce genre a passé sur Nantes en 1853. Trois fois la foudre a frappé les maisons du quai de la Fosse.

Parfois le ciel est couvert de nuages sombres; la pluie est abondante; des éclairs nombreux jaillissent de l'un à l'autre nuage et vont souvent joindre la terre. Parfois la foudre frappe directement le sol, partant des nuages, pendant que, sur un autre point, les traits lumineux vont de la

1. Cette quantité peut sembler exagérée, elle serait exacte si l'eau était pure; mais cette eau chargée de sels, est plus conductrice que l'eau distillée; la surface de contact est donc moindre que ne l'indique la formule.

terre aux nuages; c'est un choc en retour ; souvent ce choc en retour n'est pas visible et est ressenti violemment. Le coup direct est ordinairement d'un seul trait; le choc en retour, visible, affecte la forme de l'étincelle d'induction; c'est celle d'un arbre renversé dont le tronc part de la nue et dont les mille ramifications qui s'en détachent joignent la terre; parfois, le tronc de cet arbre lumineux et gigantesque semble s'appuyer à terre, pendant que ses branches joignent les nuages par de nombreux traits.

J'ai vu une masse de cristal traversée par une puissante étincelle d'induction dont les traces affectaient cette figure.

C'est pendant que j'observais dans l'est un éclair de ce genre, qu'un coup direct atteignait la Manufacture de tabac.

Soit donc que l'orage menace directement ou par choc en retour, qu'il soit violent et proche, soit qu'il embrasse une vaste étendue, le paratonnerre doit servir à l'écoulement lent ou immédiat de l'électricité que la pointe atteindra, et ne doit, en aucun cas, menacer de ses décharges les personnes habitant le bâtiment qu'il doit protéger. Il faut pour cela que, de sa pointe à la terre, quand l'électricité part du nuage, et de la terre à la pointe, quand elle agit en retour, la conductibilité de tout l'appareil soit complète et que les deux extrémités aient des dispositions convenables.

Quand une solution de continuité s'établit dans la conduite d'un paratonnerre, il devient dangereux et peut frapper les personnes qui l'approchent, comme le fut le malheureux Richmann, qui périt par la foudre partant de son paratonnerre, qu'il avait rompu pour faire des expériences.

Toutes les parties d'un paratonnerre, de quelque métal qu'elles soient formées, doivent avoir une conductibilité suffisante et à peu près égale dans toute sa longueur, à partir de la pointe jusqu'à l'eau terrestre qui doit en recevoir l'extrémité. Toute imperfection dans la conductibilité peut devenir presque aussi dangereuse qu'une rupture; car elle fait établir une pression électrique dans tout l'ensemble, et, près des puissantes sources d'électricité de la nature, une pression de ce genre peut être funeste.

Nous insisterons souvent sur ce point, qui est des plus importants à observer.

La pointe peut être supposée plongée dans la nue électrisée et s'entourer d'un cône d'attraction égal et opposé au cône de préservation, qui est de 45° : à ce compte, il n'est pas nécessaire qu'elle ait une conductibilité égale à celle du parcours; ce qui ne saurait être ou ce qui ne pourrait exister qu'à l'aide des pointes multiples de M. Perrot.

La pointe doit être *soudée à l'argent* à la partie de la flèche qui la suit, et qui est en cuivre. J'ai dû remplacer des pointes faites de la manière

suivante : un trou percé dans la tige de fer, et la pointe faite d'un simple fil de platine soudé à l'étain dans ce trou. Le premier orage qui passa sur une pointe de cette sorte échauffa la flèche, fondit et volatilisa ou oxyda l'étain ; il ne resta, entre le platine et le fer, qu'un dépôt terreux isolant. Le défaut des conduites imparfaites est de laisser l'ensemble d'un paratonnerre chargé d'électricité, et de mettre en danger la vie des personnes qui l'approchent. Quand, en ce cas, la pointe conduit mal, dans un choc en retour, elle ne rend pas aux nues l'électricité de la terre ; il y a pression électrique dans tout l'appareil.

Au-dessous de la pointe vient la flèche de cuivre, qui doit être vissée dans la flèche principale de fer, et chevillée ensuite.

On fait souvent à la lime un ajustement que l'on cheville : cela n'est pas suffisant. Les vibrations incessantes que le vent imprime à la flèche rendent libre cet ajustement, d'abord imparfait ; la rouille se met entre les pièces, et la conduite électrique devient-défectueuse.

Le câble s'attache au bas de la flèche. Gay-Lussac indique un anneau de cuivre bien rôdé sur la flèche : cela est imparfait ; la rouille vient attaquer ces ajustements. J'ai retiré de paratonnerres ainsi faits des anneaux et des flèches rouillés, où l'électricité était isolée à cette place. J'ai conseillé un écrou vissé sur la flèche, serrant fortement un tour de câble sur sa base ; si la rouille vient altérer le contact, un nouveau serrage de l'écrou, en rendant la pression plus forte, l'assure à nouveau ; il est bon de galvaniser la flèche et l'écrou.

Le câble doit être fait de cuivre rouge [1] d'une seule pièce : en cas d'insuffisance de longueur, une épissure soudée à l'étain doit en assurer le raccord. J'ai retiré un câble de paratonnerre fait de deux bouts seulement, unis par une ligature : c'était très-défectueux.

Le câble doit être guidé de distance en distance par des supports qui l'isolent de la toiture, et surtout de toute masse métallique. L'accident arrivé à la caserne du prince Eugène venait de l'oubli de cette précaution.

Les supports doivent être garnis d'anneaux en verre dans lesquels passe le câble. On met parfois à ces supports des bases en verre ; cela ne sert à rien qu'à élever la dépense.

Les supports scellés dans les murs doivent être éloignés autant que possible des lieux habités, ou tout au moins doivent être placés au-dessus de la taille d'une personne ; bien que l'isolateur soit entre le support et le câble, cet isolateur est ordinairement mouillé en temps d'orage, et quoique cette humidité soit mauvaise conductrice, elle peut faire qu'un coup de foudre passant par le câble affecte une personne appuyée au mur que le scellement du support approcherait.

1. La note citée précédemment explique pourquoi on doit bannir les conducteurs en er ou en cuivre jaune.

En approchant de terre, le câble doit être entouré. Il ne serait pas prudent qu'on pût en approcher en temps d'orage.

En arrivant dans le puits qui doit recevoir l'extrémité du câble, on réunit le câble à un grappin de fer; cette réunion doit être soudée, le grappin d'une seule pièce; j'ai retiré des grappins faits de plusieurs barres assemblées par des chaînons faits de forge; ces assemblages, d'abord oxydés par le feu, puis par la rouille, et l'attache sans soudure et oxydée du câble au dernier chaînon, sont toutes choses qui rendent illusoire la circulation de l'électricité dans cette partie du paratonnerre.

Les tranchées qui conduisent le câble, du mur de l'édifice au point où il peut être noyé, seront garnies de coke ou de braise, à moins qu'on n'ait l'assurance que le câble sera tenu à distance de la terre humide.

Quand les câbles sont faits en fer, on garnit les tranchées avec de la braise. Après un orage, si le paratonnerre a fonctionné, le fer peut s'être échauffé assez pour allumer la braise, qu'on doit remplacer aussitôt; cette fonction est un indice précieux à observer, et cependant assez dangereux.

Le grappin doit être galvanisé; entre les branches on introduit des morceaux de coke; si on a creusé un trou *ad hoc*, on y jette avec le grappin, au-dessus ou au-dessous, quelques hectolitres de coke. Quand on a un puits où l'on puisse placer tout cela pour éviter la dispersion du coke, on fait une sorte de poche grossière en toile métallique ou en grillage, qu'on remplit de coke en y introduisant le grappin, et on jette le tout dans le puits.

Ces différents soins donneront aux paratonnerres, je l'assure, une efficacité qu'ils n'ont pas à présent et diminueront les accidents qui affectent de préférence les habitations pourvues de ces instruments, quand ils sont mal conçus.

TRAVAUX DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

SUR

LES PARATONNERRES

L'Académie des sciences s'est occupée à sept reprises des conditions de la pose des paratonnerres. En voici les dates, que nos lecteurs pourraient être désireux de connaître :

Le 24 avril 1784. — Premier Rapport fait à l'Académie par une Commission composée de Franklin, Leroy, Coulomb, de Laplace, abbé Rochon.

Le 27 décembre 1799 (6 nivôse an VIII). — Deuxième Rapport fait par de Laplace, Coulomb et Leroy.

Le 25 août 1807. — Instruction sur les paratonnerres des magasins à poudre, par le Comité des fortifications. (Instruction soumise à l'approbation de l'Académie des sciences.)

Le 23 juin 1823. — Instruction sur les paratonnerres, adoptée par l'Académie des sciences. Commission : Poisson, Lefebvre, Gineau, Girard, Dulong, Fresnel, Gay-Lussac.

1855. — Instruction qui est restée seule adoptée de nos jours.

Le 14 janvier 1867. — Rapport sur l'installation des paratonnerres sur les magasins à poudre. Commission : Becquerel, Babinet, Duhamel, Fizeau, Ed. Becquerel, Régnault, maréchal Vaillant, Pouillet, rapporteur.

Juillet 1868. — Instruction sur l'organisation des paratonnerres du Louvre et des Tuileries. Commission : Becquerel, Babinet, Duhamel, Ed. Becquerel, maréchal Vaillant, Pouillet rapporteur.

L'Académie a reçu les communications de M. Perrot, qu'elle a discutées et approuvées, et beaucoup d'autres qui ne peuvent être énumérées ou auxquelles elle n'a pas accordé sa sanction.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

Chapitres.		Pages.
	Avant-Propos	v
I.	Exposé historique	1
II.	Emplacement et hauteur des paratonnerres	9
III.	Pointes des flèches	17
	Phénomènes généraux	17
	Considérations théoriques sur l'électricité	21
	Conductibilité électrique	25
	Pouvoir des pointes	29
	Pointes de platine	32
IV.	Flèches en cuivre	36
V.	Paratonnerres pour les églises	40
VI.	Paratonnerres pour moulins à vent	48
VII.	Pointes multiples	53
VIII.	Barres ou tiges en fer	60
IX.	Isolement des paratonnerres d'avec les partis métalliques des bâtiments	68
X.	Du conducteur	84
	Ce qu'en disent les instructions de Gay-Lussac	84
	Choix des matériaux	86
	Section à donner aux câbles	88

Fabrication des câbles métalliques. 92
Pose et préservation des câbles. 95
Conducteur en paille 103
XI. Isoloirs et supports. 107
XII. Disposition du conducteur dans le sol. 111
XIII. Mise à terre. 117
XIV. Paratonnerres pour les cheminées d'usines 128
XV. Paratonnerres pour les poudrières. 131
XVI. Paratonnerres pour les navires 134
XVII. Paragrêles. 144
XVIII. Utilité des paratonnerres. — Faits à l'appui. 147
XIX. Résumé 157
XX. Électromètre. 162
Note.— Extrait du journal l'*Union Bretonne* 167
Travaux de l'Académie des sciences sur les paratonnerres. 172

IMPRIMERIE EUGÈNE HEUTTE ET Cie, A SAINT-GERMAIN.